



FiBL

Forschungsinstitut für biologischen Landbau
Institut de recherche de l'agriculture biologique
Research Institute of Organic Agriculture
Istituto di ricerche dell'agricoltura biologica
Instituto de investigaciones para la agricultura orgánica

Der Kenntnisstand zu Tierschutz und Welfare in der Speisefischpro- duktion

Literaturstudie zum Status Quo in Praxis
und Wissenschaft; Oktober 2012

Autoren:

Fridolin Tschudi und Andreas Stamer

Im Auftrag von:



EXCELLENCE FOR SUSTAINABILITY

Das FiBL hat Standorte in der Schweiz, Deutschland und Österreich

FiBL offices located in Switzerland, Germany and Austria

FiBL Schweiz / Suisse

Ackerstrasse, CH-5070 Frick

Tel. +41 (0)62 865 72 72

Impressum:

Autoren:

Fridolin Tschudi und Andreas Stamer
Forschungsinstitut für biologischen Landbau, FiBL
Ackerstr. 21
5070 Frick
Corresponding Author:
Andreas.Stamer@fibl.org
Tel.: +41 62 865 0419

Diese Studie wurde unterstützt von:

Jacques und Susanna Chauvet-Stiftung
Ernst-Göhner-Stiftung
Paul-Schiller-Stiftung
Stiftung Clara Higy für Tierschutz

Inhalt

1. Relevanz	5
2. Allgemeine Praxis der Forellenmast und Forellenzucht in der Schweiz	6
2.1 Grundzüge der künstlichen Vermehrung	9
2.2 Mast	9
2.2.1 Flliesskanäle	11
2.2.2 Teich	11
2.3 Handling/Abfischen und Transport	12
2.4 Schlachtung	12
3. Fischwohl	14
3.1 Zeitliche Entwicklung der Forschung	14
3.2 Definitionen von Tier- und Fischwohl	14
3.2.1 Gefühlsbasierter Ansatz	15
3.2.2 Physiologisch - funktional basierter Ansatz	15
3.2.2.1 Die physiologische Grundlage von Schmerz	16
3.2.3 Ethologisch ergänzender Ansatz	17
4. Aktuelle Forschungsansätze zu potentiell aversen Faktoren	18
4.1 Gesundheit	18
4.1.1 Krankheiten	18
4.1.2 Impfungen und Nebeneffekte	18
4.1.3 Mortalität	19
4.1.4 Ernährung	19
4.1.5 Deformationen und Missbildungen	20
4.2 Genetik	20
4.2.1 Selektive Züchtung	20
4.2.2 Verweiblichte Fische: Sex reversal Technik und Triploidie	21
4.2.3 Gentechnik	21
4.3 Mastbetrieb	22
4.3.1 Besatzdichte	22
4.3.2 Wasserqualität	22
4.3.2.1 Sauerstoff	23
4.3.2.2 Ammonium/Ammoniak	23
4.3.2.3 Nitrit und Nitrat	23
4.3.2.4 Kohlendioxid	24
4.3.2.5 pH	24
4.3.2.6 Alkalinität	24
4.3.2.7 Wasserhärte	24
4.3.2.8 Temperatur	24
4.3.2.9 Schwermetalle	24
4.3.2.10 Suspendierte Stoffe	25
4.3.2.11 Gasübersättigung	25
4.3.3 Wasserfluss	25
4.3.4 Schwarmbildung	25

4.3.5	Lärm	25
4.3.6	Raubtiere	26
4.3.7	Grössensortierung	26
4.3.8	Fütterungstechnik	26
4.3.9	Struktur des künstlichen Lebensraumes	27
4.3.9.1	Tiefe und Fließgeschwindigkeit	28
4.3.9.2	Substratgrösse und Farbe	28
4.3.9.3	Schutz, Beschattung und Strukturen	28
4.3.9.4	Futterzugang	29
4.3.10	Kunstlicht und „Photoperiod Manipulation“	29
4.3.11	Transport	30
4.3.12	Betäubung und Schlachtung	30
5.	Indikatoren und Erfassungsmöglichkeiten	31
5.1	<i>Ethologische Indikatoren</i>	32
5.1.1	Aggression	32
5.1.2	Aktivität	32
5.1.3	Konfliktvermeidung	33
5.1.4	Fressverhalten	33
5.1.5	Lautäusserungen	33
5.2	<i>Physiologische Indikatoren</i>	34
5.2.1	Stress	34
5.2.2	Atemfrequenz	36
5.2.3	Farbänderung	36
5.2.4	Gesundheit	37
5.3	<i>Morphologische Indikatoren</i>	37
5.3.1	Morphologisch Abnormitäten	37
5.3.2	Wachstumsrate	37
5.3.3	Flossenverletzungen	37
6.	Diskussion	39
6.1	<i>Indikatoren</i>	39
6.2	<i>Minimierung averser Faktoren – Optimierung der Umweltbedingungen</i>	44
7.	Schlussfolgerung	51
8.	Literatur	52
9.	Anhang	66

1. Relevanz

Die Bedeutung der Aquakultur nimmt in den letzten Jahren stetig zu. Mit einer durchschnittlichen, weltweiten Wachstumsrate von 6-8 % pro Jahr ist die Aquakultur der zur Zeit am schnellsten wachsende Sektor tierischer Nahrungsprodukte (CIWF 2009). Durch die massive Überfischung der Weltmeere und das dadurch sinkende Angebot an hochwertigem Wildfang (Worm et al. 2006) kann zudem mit einem weiteren Wachstum der Aquakultur gerechnet werden.

Aquakulturbetriebe erhalten somit einen immer wichtigeren wirtschaftlichen Stellenwert und gelangen stärker in den Fokus der Öffentlichkeit. Weltweit, speziell auch in der Schweiz, entstanden in den letzten Jahren neue Betriebe mit neuen Betriebsformen. Technisch anspruchsvolle Kreislaufanlagen unterscheiden sich dabei in ihrer Ausführung untereinander und gegenüber von konventionellen Fliesskanälen stark. Eine Anpassung der rechtlichen Rahmenbedingungen ist deshalb nötig. Dies setzt jedoch voraus, dass die aktuelle Gesetzeslage dem Stand der Forschung entspricht und einfache Tierschutz-Kontrollmechanismen bestehen, die von den Behörden bzw. dem Fischwirt angewandt werden können.

In den letzten Jahren hat sich aufgrund der wachsenden Aquakultur auch die Forschung in diesem Gebiet intensiviert. Dabei wurde ein starker Fokus auf Tierschutz und das Wohlbefinden von Fischen (Fischwohl) in Aquakulturbetrieben gesetzt. Das Ziel dieser Arbeit ist es, den aktuellen Stand dieser Forschung mit Fokus auf die Schweizer Forellenproduktion darzulegen und möglichen Forschungsbedarf aufzuzeigen. Dafür werden zuerst die gängige Praxis der Forellenzucht und Forellenzucht und deren gesetzliche Rahmenbedingungen kurz umrissen. Es folgen die gängigen, unterschiedlichen Definitionen von Fischwohl und deren wissenschaftlichen Grundlagen. Anschliessend werden mögliche Parameter vorgestellt, welche einen negativen Effekt auf das Fischwohl haben können, und deren Abweichungen zum Schweizer Recht dargelegt. Da es zur Kontrolle unumgänglich ist, das Fischwohl einfach und schnell bewerten zu können, werden mögliche Indikatoren für Fischwohl diskutiert und deren Relevanz für die zukünftige Forschung erläutert. Inwieweit es gerechtfertigt ist, wirtschaftliche und ernährungstechnische Interessen mittels Gesetzen zum Tierschutz einzuschränken, ist nicht Teil dieser Studie und muss separat diskutiert werden.

2. Allgemeine Praxis der Forellenmast und Forellenzucht in der Schweiz

Gemäss dem Bundesamt für Umwelt (BAFU) produzieren die rund 90 grössten privaten Fischmastbetriebe der Schweiz jährlich rund 1200 Tonnen Speisefisch (Büsser 2005; BAFU 2010). Davon sind über 92% Regenbogen- (*Oncorhynchus mykiss*), 3.5 % Bachforellen (*Salmo trutta fario*) und 0.5% Seesaiblinge (*Salvelinus alpinus*). Tilapia (*Oreochromis niloticus*) nehmen weitere 4% ein (Büsser 2005; BAFU 2010). Die vom BAFU (2010) publizierten Daten beziehen sich auf eine Erhebung von 2003/2004 (Büsser 2005). In der Statistik vom BAFU (2010) noch nicht enthalten sind neue Projekte wie die Egliproduktion (*Perca fluviatilis*) der Firma Valperca AG (aktuell 300 Tonnen pro Jahr nach Wainer persönliche Mitteilung, 2012) sowie die Störproduktion (*Acipenser baerii*) des Tropenhauses Frutigen (Makowsky 2012).

Da ein Grossteil der für den direkten Verzehr gezüchteten Fische, Salmoniden – vorwiegend Regenbogenforellen – sind, werden an dieser Stelle die gängigen Fischzucht- und Mastpraktiken für Regenbogenforellen in der Schweiz kurz erläutert. Es liegen keine genauen Zahlen vor, in welcher Art Mastbetrieb welche und wie viele Fische produziert werden. Die Erhebung über die „Aquakulturbetriebe in der Schweiz“ des BVET zeigt jedoch, dass ein Grossteil der Mastbetriebe entweder Teiche oder Becken/Fliesskanäle betreiben (BVET 2011). Aus diesem Grund wird der Fokus auf die Forellenmast in Teichen und Fliesskanälen gelegt. Mastbetriebe für Forellen mit Kreislaufanlagen sind in der Schweiz weniger häufig (BVET 2011). Rund 70 % der in der Schweiz produzierten Forellen stammen aus konventionellen Betrieben, während die restlichen 30% aus biologisch zertifizierten Betrieben stammen (persönliche Mitteilung Bio-Suisse). Die rechtlichen Rahmenbedingungen zur Fischhaltung zwecks Zucht und Mast geben das Tierschutzgesetz (TSchG), die Tierschutzverordnung (TSV), das Gewässerschutzgesetz (GSchG), die Gewässerschutzverordnung (GSchV) und weitere Gesetze und Verordnungen, welche vorwiegend dem Futter gelten, vor. Für die Bio-Forellen gelten zusätzlich die Richtlinien von Bio Suisse (2012), die sowohl strengere Richtwerte für gewisse Umweltbedingungen sowie zusätzliche Auflagen für die Fischproduktion umfassen. Diejenigen Richtwerte, die insbesondere die Fische betreffen, sind in Tabelle 1 nachfolgend zusammengefasst. Hierbei wird ersichtlich, dass die zusätzlichen Auflagen vorwiegend die Strukturierung und technische Ausführung der Anlage, die Besatzdichte, Temperatur und pH sowie die Transportdichten betreffen. Die in Kapitel 2 beschriebenen Praktiken entsprechen, falls nicht explizit erwähnt, den konventionellen Forellenmastpraktiken.

Tabelle 1: Vergleich der gesetzlichen Vorgaben und der zusätzlichen Richtlinien von Bio Suisse zur Forellenzucht

Kriterium	Bio Suisse Richtlinie (2012) (zusätzlich zur gesetzlichen Grundlange)	Gesetzliche Vorgabe (falls nicht explizit erwähnt: Tier-schutzverordnung)
Anlage		
Gewässerparameter Zulauf	Muss der Gewässerschutzverordnung entsprechen. ¹	Keine Regelung
Gewässerparameter Teich/Mast- bzw. Haltebecken	<p>min 6 mg O₂/L (überall)</p> <p>max 0.6 mg NH₃/L</p> <p>pH 7-8</p> <p>T_{max} 16°C</p> <p>20 kg Fisch/m³ (Teiche und Becken) 30 kg Fisch/m³ (in Fließwasserteichen, wenn der Zufluss mindestens 1 l/s pro 100 kg Fisch ist)</p>	<p>Min 60% O₂ Sättigung Max 120% O₂ Sättigung min 6.5 mg O₂/L (Langfristig im Tierbe-reich) min 5 mg O₂/L (Kurzfristig im Tierbe-reich und im abfließenden Wasser)</p> <p>max 0.01 mg NH₃/L max 35 mg NaCl/L max 200 mg NO₃⁻/L max 20 mg CO₂/L</p> <p>pH 5.5-8.5</p> <p>T_{max} 18°C ΔT 3°C (Maximale Temperaturdifferenz beim Umsetzen)</p> <p>25-100 kg Fisch/m³</p>
Belüftungstechnik der Anlage	Begasung mit flüssigem oder gasförmigen Sauerstoff nur in Ausnahmesituati-onen und zu Transportzwecken erlaubt	Keine Regelung
Strukturierung der Anlage	<p>10% der Wasseroberfläche beschattet (Ausnahme bei Teichen tiefer als 2 m und Naturgewässern mit bestocktem Ufer). Haltung in Kunststoff- oder Be-tonbecken maximal während der hal-ben Lebensdauer.</p> <p>Ab dem 5. Lebensmonat muss die Anlage mit zusätzlichen Habitatsmass-nahmen ausgestattet sein (Rückzugs-möglichkeiten, Blenden, Fließ- und Totwasserzonen, Unterstände)</p>	Keine Regelung
Erlaubte Technik zum Erreichen der	<ol style="list-style-type: none"> 1. Natürliche Filterbetten 2. Absetzbecken 	Die Wasserqualität muss den Anforde-rungen des Gewässerschutzes entspre-

¹ Gewässerschutzverordnung Anhang 2, Anforderungen an die Wasserqualität

gesetzlichen Grenzwerte im Auslauf	3. Biologische Filter 4. Mechanische Filter 5. Tiere oder Algen	chen ² Keine spezifische Regelung bezüglich Technik.
Produktion von Brut Vermehrungstechnik und Gewässerparameter	Triploide Fische sind verboten Eltern und Jungfische dürfen nicht mit Antibiotika, Wachstumsförderern oder Hormonen behandelt worden sein.	Gentechnisch veränderte Fische sind verboten. Gewässerparameter wie in Anlage ausser: T _{max} 14°C Min 70% O ₂ Sättigung max 0.006 mg NH ₃ /L
Künstliche Beleuchtung	Nur zu Fortpflanzungszwecken erlaubt (max 16 h/d)	Nicht geregelt
Betrieb Futter	Knospe und Hilfsstoff-Knospe zertifiziertes Futter	Phosphorarm ³ Produzierte Fische müssen den Auflagen der Lebensmittelverordnung entsprechen ⁴
Einsatz von Medizinischen Stoffen	Gemäss „Betriebsmittelliste für die Fischzucht“ (Bio Suisse 2012)	Gemäss Tierarzneimittelverordnung
Minimale Haltungsdauer	18 Monate für ein Schlachtgewicht von 220-350 g	Keine Regelung
Transport	maximal: 10 h bei 125 kg/m ³ 2 h bei 200 kg /m ³	Parameter wie in Anlage ausser: T 2-14°C pH 6.5 – 9 5-8 mg O ₂ /L Futterentzug: max 100 d° 250 kg Fisch/m ³
Erlaubte Tötungsmethoden:	Schlagverfahren Strom	stumpfer kräftiger Schlag auf den Kopf Genickbruch Elektrizität mechanische Zerstörung des Gehirns ⁵
Reinigung	Zur Desinfizierung der Becken ist Chlorkalk verboten. Brantkalk auf trockenem Teichboden jedoch erlaubt.	Becken sind auf Anordnung der Behörden zu entschlammen ⁶

² Gewässerschutzverordnung Art 27

³ Gewässerschutzverordnung

⁴ Zusatzstoffverordnung, Fremd- und Inhaltsstoffverordnung, Lebensmittel- und Gebrauchsgegenständeverordnung, Tierarzneimittelverordnung

⁵ Tierschutzverordnung Art. 184 Abs. 1 i

⁶ Gewässerschutzverordnung

2.1 Grundzüge der künstlichen Vermehrung

Regenbogenforellen haben in Europa oft Schwierigkeiten, sich auf natürliche Weise fortzupflanzen (BVET 2005). Deshalb, und um die Fische auf Zuchtmerkmale zu selektieren, ist eine künstliche Vermehrung allgemeiner Standard (Schmidt 1998). In Betrieben muss die Selektion meist auf wenige Merkmale beschränkt werden. Oft sind dies allgemeine Vitalität, Wachstum, Eintritt der Laichreife sowie Fruchtbarkeit (Eizahl, Eigrösse, etc.) (Schmidt 1998). Die besten Ergebnisse liefern Rogner im Alter von 4-6 und Milchner im Alter von 3-5 Jahren (Schmidt 1998). Bereits ein bis zwei Monate vor der Laichzeit werden die Laichforellen aus den Haltungsteichen oder Becken nach Geschlecht aufgetrennt und in kleinere, stärker durchströmte und besser befischbare Teiche bzw. Becken umgesetzt. Zur künstlichen Gewinnung reifer Geschlechtsprodukte werden die Fische betäubt⁷ und anschliessend die Eier bzw. das Sperma abgestreift. Rogner liefern rund 2000 Eier/kg Körpergewicht (Schmidt 1998). Bei der weitverbreiteten, sog. „trockenen Besamung“ werden die Eier von einigen Rognern mit dem Sperma von zwei bis drei Milchnern schonend vermischt. Anschliessend gibt man vorsichtig Wasser oder sog. Befruchtungslösung (Salzlösung aus NaCl, CaCl₂ und (NH₂)₂CO) hinzu (Schmidt 1998). Durch diesen Schritt werden die Spermien bewegungsfähig, die Befruchtung der Eier setzt ein und die Eier quellen und werden fester. Nach maximal einer Stunde werden die befruchteten Eier gewaschen und gegebenenfalls desinfiziert. Die ausgehärteten Eier werden in einer lichtgeschützten Erbrütungseinrichtung ausgebrütet, welche sich in der Ausführung unterscheiden kann. Ein gleichmässiger Strom kühlen, sauerstoffreichen Wassers versorgt die Eier mit Sauerstoff und transportiert Stoffwechselprodukte ab (BVET 2005). Die Entwicklung bis zum Schlüpfen dauert bei 8-10 °C ca. 340 d° (Tagesgrade⁸) (Schmidt 1998), bei tieferen Temperaturen bis zu 420 d° (BVET 2005). Während den ersten 120-160 d° nach dem Schlüpfen zehrt die Brut ausschliesslich vom Dottersack (Schmidt 1998). Danach werden die Brütlinge in Anfütterungsbecken umgesetzt und es wird mit der Fütterung mit Feinstgranulat begonnen. Die Temperatur liegt hierbei idealerweise etwas höher (10-12 °C) als bei der Bebrütung und die Lichtintensität wird ebenfalls erhöht, um eine Erkennung des Futters zu ermöglichen. Für die Aufzucht der Brut darf die Wassertemperatur nicht über 14°C steigen. Kreislaufanlagen⁹ sind bei der Brutaufzucht auch bei Biobetrieben zugelassen (Bio Suisse 2012)¹⁰. Die Brut wird in Rinnen bis zu einer Grösse von 5-6 cm vorgestreckt und anschliessend in die eigentlichen Mastbecken bzw. Teiche umgesetzt (Schmidt 1998).

2.2 Mast

Die Forellen werden oft bis zu einem Standardschlachtgewicht von 250-300g gefüttert. Grössere rotfleischige Regenbogenforellen, sogenannte „Lachsforellen“ von bis zu drei kg, werden ebenfalls vom Markt nachgefragt. Die Mast zum Standardschlachtgewicht dauert unter durch-

⁷ Tierschutzverordnung Art. 88 Abs. 2

⁸ Tagesgrade [d°] = Zeit [d] x Temp. [°C]; Bsp.: 420 d° = 35 d x 12 °C

⁹ Energieintensive Anlagen mit geringem Wasserverbrauch, in welchen das abfliessende, verunreinigte Wasser wieder aufbereitet und den Zuchtbecken zugeführt wird.

¹⁰ Tierschutzverordnung Art. 98 Abs. 2 Anhang 2 Tabelle 7

schnittlichen Temperaturverhältnissen eineinhalb Jahre (Schmidt 1998). Tiefe Wassertemperaturen können die Wachstumszeit stark erhöhen, etwas höhere Temperaturen diese wiederum senken.

Der Futterbedarf der Forellen richtet sich stark nach Alter bzw. Grösse, Aktivität, Wassertemperatur und Salzgehalt des Wassers (Schmidt 1998). Jüngere Forellen haben aufgrund ihres hohen Wachstums einen viel höheren Futterbedarf als schlachtreife Forellen. In Abhängigkeit davon bestimmt der Fischwirt die optimale Futterzugabe. Kommerzielles Futter ist meist Trockenmischfutter in Form von extrudierten, schwimmfähigen Pellets, welches je nach Hersteller aus rund 40% Rohprotein, 12-22 % Rohfett, 1-2 % Rohfaser und 8-11% Asche besteht. Als Eiweissträger werden Fischmehl und pflanzliche Proteine (vor allem Soja) eingesetzt. Als Energie- und Fettzufuhr dienen Fischöl und pflanzliche Öle. Weiter kann das Futter mit Vitaminen, Mineralien, Spurenelementen oder Medizinalstoffen angereichert sein (Schmidt 1998). In der Schweiz ist gemäss der Gewässerschutzverordnung nur phosphorarmes Futter zulässig. Es muss so konzipiert sein, dass die produzierten Fische den gesetzlichen Anforderungen für Lebensmittel entsprechen¹¹. Die Futterproduktion richtet sich nach der Futtermittel-Verordnung.

Gefüttert wird in der Schweiz meistens über Futterautomaten oder von Hand. Dabei soll darauf geachtet werden, dass das Futter grossflächig verteilt wird (Schmidt 1998). Gemäss Schmidt liegt die optimale Fütterungstemperatur bei 15-16 °C. Bei dieser Temperatur können Forellen die Nahrung am besten verwerten. In Temperaturbereichen darüber wird der absolute Sauerstoffgehalt des Wassers selbst bei hoher relativer Sättigung, und somit die potentielle Sauerstoffzufuhr zu gering, um die steigende Futtermenge zu verwerten. Sinken die Temperaturen unter 15°C, verringert sich die Stoffwechselrate und somit die verwertete Futtermenge. Jungforellen werden möglichst über den ganzen Tag verteilt gefüttert. Bei grösseren Tieren können die Futterzugaben auf ein- bis zweimal pro Tag verringert werden, je nach Betriebsgrösse wird auch am Wochenende nicht gefüttert. Für Bio-Betriebe besteht jedoch die Auflage, dass die Anlage täglich betreut werden muss (Bio Suisse 2012). Ein maximaler erlaubter Futterentzug beträgt 100 Tagesgrade¹².

Anforderungen an die Wasserqualität, Temperatur, Besatzdichte und Regelmässigkeit der Fütterung sind in der Tierschutzverordnung¹³ geregelt. Die Parameter der Wasserqualität beschränken sich auf prozentuale Sauerstoffsättigung, Sauerstoff-, Ammoniak-, Nitrat-, Kochsalz- und Kohlenstoffdioxidgehalt sowie pH Wert. Rechtliche Rahmenbedingungen für die Dimensionierung und Gestaltung der Becken gibt es nach Schweizer Recht bislang nicht. Lediglich Bio-Suisse erlässt Richtlinien über die Ausgestaltung der Mastbecken (Bio Suisse 2012). Vielmehr ergibt sich aus Qualität und Quantität des Frischwasserzuflusses sowie der technischen Installationen die mögliche Besatzdichte. Diese ist auf ein Maximum von 100 kg /m³ beschränkt, soweit alle Kriterien der Wasserqualität erfüllt sind¹⁴. Für Bio-Fische liegt die maximale Besatzdichte bei 20 kg/m³ ¹⁵(Bio Suisse 2012). Weiter muss die Anlage die Auflagen

¹¹ Zusatzstoffverordnung, Fremd- und Inhaltsstoffverordnung, Lebensmittel- und Gebrauchsgegenständerverordnung, Tierarzneimittelverordnung

¹² Tierschutzverordnung Art. 98 Abs. 2 Anhang 2 Tabelle 7

¹³ Tierschutzverordnung Art. 98 Abs. 2 Anhang 2 Tabelle 7

¹⁴ Tierschutzverordnung Art. 98 Abs. 2 Anhang 2 Tabelle 7

¹⁵ Ausnahmen bestehen für sehr hohe Wasserverfügbarkeit (vergl. Tabelle 1)

des Gewässerschutzgesetzes erfüllen. Diese beziehen sich jedoch nur auf den Auslauf in den Vorfluter und nicht auf die Wasserqualität im Mastbecken. Die bestehenden Anlagen müssen auf Anordnung der Behörde entschlammt werden¹⁶, um eine Rücklösung der gebundenen Nährstoffe (vorwiegend nicht gefressenes Futter sowie sedimentierter Kot) und somit einen zu hohen Nährstoffeintrag in die Gewässer zu verhindern. Dies kann in Teichen nach der Abfischung gemacht werden.

Je nach Betrieb werden die Forellen vorwiegend in Teichen und/oder Fliesskanälen aufgezogen. Aufgrund des grossen Frischwasserangebotes sind geschlossene Kreislaufanlagen in der Schweiz für die Forellenzucht nicht üblich. In der Biofischzucht sind sie für die Mast gar verboten (Bio Suisse 2012). In der Schweiz liefern oft Quellen oder Fliessgewässer die benötigte Frischwassermenge.

2.2.1 Fliesskanäle

Steht eine grosse Frischwasserzufuhr zur Verfügung, können Forellen in Fliesskanälen gemästet werden. Eine hohe Frischwasserzufuhr hat den Vorteil, dass eine hohe, natürliche Sauerstoffzufuhr besteht. Weiter führt sie zu einer Verdünnung und Ausschwemmung giftiger Stoffwechselprodukte und suspendierter Stoffe (Schmidt 1998). Dadurch können hohe Besatzdichten gewählt werden, welche nach wie vor die gesetzlichen Rahmenbedingungen erfüllen.

Die Kanäle sind meist mehrere Meter breit, ca. ein Meter tief und teilweise bis 200 Meter lang (Schobert 2001). Meist ist es zweckmässig, sie in Abschnitte zu unterteilen (Schobert 2001).

Fliesskanäle werden sowohl in Erd- wie auch in Betonbauweise errichtet (Schobert 2001). Eine Betonsohle sollte gemäss Schobert (2001) vermieden werden. Nach Erkenntnis der Autoren ist eine solche jedoch keine Seltenheit.

2.2.2 Teich

Teiche unterstehen denselben gesetzlichen Anforderungen wie Fliesswasserkanäle. Im Unterschied zum Fliesswasserkanal ist der Wasseraustausch und somit die Sauerstoffzufuhr im Teich geringer. Aus diesem Grund müssen in Teichen ohne zusätzliche Wasseraufbereitung oft Fische in einer geringeren Dichte als im Fliesswasserkanal gehalten werden. Um den Sauerstoffeintrag zu erhöhen, werden Teiche bei hohen Besatzdichten oft belüftet. Gesetzlich ist eine maximale Sauerstoffsättigung von 120 % zulässig¹⁷.

Die Teiche können sowohl als betonierte Bauwerke oder als einfacher Erdteich mit oder ohne befestigter Uferböschung bestehen (Schobert 2001). Um das Entleeren des Teichs zwecks Fischentnahme oder Entschlammung zu erleichtern, ist der Teich meist mit einem Mönch¹⁸ ausgestattet.

¹⁶ Gewässerschutzverordnung Art. 27

¹⁷ Tierschutzverordnung Art. 98 Abs. 2 Anhang 2 Tabelle 7

¹⁸ Wasserbauwerk, mit welchem der Teich an der tiefsten Stelle entwässert werden kann

2.3 Handling/Abfischen und Transport

Fische wachsen in der Natur verschieden schnell. Aggressionen durch grössere Fische können kleinere Fische in der Natur ausweichen, indem sie sich einen anderen Standort suchen. In Aufzuchtbecken ist dies nicht möglich. Um unnötigen Stress und Verletzungen aufgrund Aggression zu verringern sowie um schlachtreife Fische auszuwählen, werden Fische regelmässig nach Grösse sortiert (Schmidt 1998).

Während des Sortierens müssen Fische immer im Wasser oder ausreichend befeuchtet sein¹⁹. Die Technik des Sortierens reicht von der einfachen Sortierung von Hand und Kescher über mechanische Sortierkästen (Schmidt 1998) bis zu technisch hoch entwickelten Sortiersystemen, welche die Fische durch computergestützte Auswertung von Bilddaten einer GrösSENklasse zuordnen (Pilotprojekt für Stör) und stressfrei in ein neues Kompartiment schwimmen lassen (Wasserfallen 2009).

Beim Abfischen aus einem Teich können die Fische sowohl vor dem Mönch wie auch nach dem Mönch entnommen werden. Dafür wird der Wasserstand des Teiches soweit gesenkt, bis sich die Fische an der tiefsten Stelle vor dem Mönch sammeln. Die Entnahme geschieht oft mit Keschern oder Fischpumpen (Schmidt 1998). Für Fliesskanäle kann der Wasserstand ebenfalls abgesenkt werden, die Fische werden dann mit einem Zugnetz konzentriert und mittels Keschern oder einer Fischpumpe entnommen.

Müssen Fische transportiert werden, wird durch mehrtägigen Futterentzug eine Entleerung des Verdauungstraktes erreicht. Dadurch verringern sich die Stoffwechselrate sowie die Produktion von Stoffwechselprodukten. Der Transport geschieht meist in speziell dafür entwickelten, isolierten Kunststofftanks mit Luft-/Sauerstoffzufuhr und allenfalls zusätzlichen Filtersystemen für das Wasser (Schmidt 1998). Für Forellen ist eine maximale Transportdichte von 250 kg/m³ erlaubt²⁰. In der Bioproduktion sind die Transportzeiten auf 2 bzw. 10 Stunden und die Transportkonzentrationen auf 200 bzw. 125 kg/m³ beschränkt. Der Lebendtransport von Fischen auf Eis oder in Eiswasser ist gesetzlich verboten²¹.

2.4 Schlachtung

Vor der Schlachtung müssen die Forellen in sauberem, sauerstoffreichen Wasser ausgenüchert werden (Schmidt 1998). Dies dient zur Verbesserung der Fleischqualität (Schmidt 1998) und zur Ermöglichung eines allfälligen Transportes.

Die Betäubung und allfällige Tötung von Fischen ist ebenfalls in der Tierschutzverordnung geregelt. Erlaubte Betäubungs-/Tötungsmethoden sind²²:

1. stumpfer kräftiger Schlag auf den Kopf
2. Genickbruch
3. Elektrizität
4. mechanische Zerstörung des Gehirns

¹⁹ Tierschutzverordnung Art. 99 Abs. 3

²⁰ Tierschutzverordnung Art. 98 Abs. 2 Anhang 2 Tabelle 7

²¹ Tierschutzverordnung Art. 23 Abs. d.

²² Tierschutzverordnung Art. 184 Abs. 1 i

Die Methode zur Betäubung und Tötung des Fisches hängt oft von der Betriebsgrösse, der zu verarbeitenden Fischmenge oder vom Endverbraucher ab. Bio Suisse zertifizierte Betriebe dürfen ausschliesslich Elektrizität oder Schlagverfahren einsetzen (Bio-Suisse 2012). Bei grösseren Mastbetrieben werden die Fische direkt auf dem Betrieb weiterverarbeitet. Die Schlachtung und das Filetieren sind meist maschinell unterstützt.

3. Fischwohl

3.1 Zeitliche Entwicklung der Forschung

Die internationale Forschung beschäftigt sich seit Anfang der 1990er Jahre zunehmend mit dem Thema Fischwohl in der Aquakultur. Anhand einer einfachen Webstudie im "Web of Science" zeigten Huntingford und Kadri (2009), dass Veröffentlichungen mit den Schlüsselwörtern "aquaculture" und "welfare" pro Jahr stetig zunahmen. Anfang der 1990er Jahren dominierten die Themen Gesundheit und Transport von Zuchtfischen die Forschung, wobei seit Anfang des 21. Jahrhunderts die Besatzdichte und optimale Schlachtungsmethoden in den Fokus der Forschung gelangten. Seit einigen Jahren hat sich die Forschung zudem auf die Erforschung von "Fischwohl-Indikatoren" fokussiert, welche in Mastbetrieben einfach erhoben werden können. Das dem englischen „fish welfare“ entsprechende Fischwohl wird von diversen Autoren jedoch unterschiedlich definiert. Diese verschiedenen Definitionsansätze mit ihrem wissenschaftlichen Hintergrund werden in diesem Kapitel diskutiert.

3.2 Definitionen von Tier- und Fischwohl

Das Fischwohl zu definieren gestaltet sich als schwierig. In den letzten Jahren entstand eine breite Diskussion darüber, durch welche Attribute Fischwohl beschrieben werden kann.

Ein Grundstein zu einer allgemeinen Definition von Tierwohl wurde durch den Brambell Report (1965) gegeben. Dieser fokussierte vorwiegend auf die Haltung von Säugetieren und Geflügel, kann aber auch auf Fische ausgeweitet werden. Gemäss dem Brambell Report (1965) kann Tierwohl durch fünf Freiheiten beschrieben werden²³:

1. Freiheit von Hunger, Durst und Mangelernährung
2. Freiheit von Unbehagen
3. Freiheit von Schmerz, Verletzungen und Krankheit
4. Freiheit, natürliches Verhalten zu zeigen
5. Freiheit von Angst und Stress

Für Fische bedeutet dies:

1. die Notwendigkeit einer adäquaten, ausreichenden und artspezifisch angemessenen Fütterung.
2. die Notwendigkeit von artspezifisch angemessenen Wasserparametern, Fließgeschwindigkeiten, Lichtintensitäten und anderen Faktoren.
3. die Notwendigkeit, durch vorsichtigen Umgang mit den Tieren Verletzungen zu vermeiden, Infektionen durch gute Hygiene und Haltung vorzubeugen, Missbildungen zu vermeiden und Krankheitsvorbeugung beispielsweise durch Impfungen zu realisieren.
4. das Vorhandensein von ausreichendem Bewegungsspielraum und artspezifisch notwendiger Ausgestaltung des künstlichen Lebensraumes.

²³ Wohlergehen bei Tieren ist im Schweizer Tierschutzgesetz auf sehr ähnliche Weise definiert. (siehe Anhang)

5. den schonenden Umgang bei allen notwendigen Ernte-, Sortier- und Behandlungsmassnahmen, inklusive des Transports sowie die Betäubung vor der Schlachtung und eine humane Schlachtung selbst.

Diese Freiheiten überschneiden sich teilweise, dienen aber als gute Kriterien um Fischwohl zu bewerten (Southgate 2010). Hunger, Durst (nicht im Fall von Süßwasserfischen), Fehlernährung, Verletzung und Krankheit definieren grundlegende, meist einfach zu messende, tierbezogene Zustände oder Situationen und bilden so die Basiskriterien für das Tierwohl. Die Kriterien Lebensqualität, normales Verhalten, Angst, Stress und Schmerz sind weit schwieriger zu quantifizieren (Volpato 2009).

Viele Interpretationen von tierischem Leiden basieren auf anthropomorphen Ansätzen (Cooke et al. 2007) und/oder auf der Annahme, dass Emotionen empirisch aufgezeigt werden können (Sandoe et al. 2004). Studien über das Wohlbefinden von Fischen folgen meistens einem der drei folgenden Ansätze:

3.2.1 Gefühlsbasierter Ansatz

Dieser Ansatz ist wissenschaftlich nur sehr schwach fundiert. Zwecks Vollständigkeit wird er aber trotzdem vorgestellt. Das Ziel dieses Ansatzes ist es, durch wissenschaftliche Untersuchungen zu beweisen, dass Tiere in der Lage sind Gefühle zu entwickeln und somit auch leiden können. Dabei werden Verhaltensweisen von Tieren untersucht, die dazu beitragen von einem weniger guten Zustand in einen besseren Zustand zu gelangen oder unangenehme Zustände zu meiden (Volpato 2009). Gilson Volpato (2009) ist ein bekannter Vertreter dieses Ansatzes. Er stützt sich dabei auf Untersuchungen von Chandroo et al. (2004) zur Homologie zwischen menschlichen und nichtmenschlichen Vertebratenhirnen und auf Verhaltensstudien von Sneddon (2003), die auf kognitive Funktionen in nichtmenschlichen Vertebraten hinweisen. Weiter sei die Funktionsähnlichkeit des Telencephalon²⁴ mit dem limbischen System der Tetrapoden (Portavella et al. 2002) zu erwähnen. Er kommt aufgrund dieser Studien zum Schluss, dass Fische Gefühle empfinden könnten (Volpato 2009). Für eine detaillierte Diskussion dieses Ansatzes sei auf die Arbeiten von Huntingford et al. (2007) sowie Volpato, et al. (2007) und Volpato (2009) verwiesen.

3.2.2 Physiologisch - funktional basierter Ansatz

Besonders bei Fischen wird oft der physiologisch basierte Ansatz verwendet. Dabei wird versucht, morphologische sowie physiologische Grundlagen von Leiden in Tieren zu finden. Der am meisten verwendete Ansatz ist der Nachweis von Schmerz (Volpato 2009), was von unterschiedlichen Forschungsgruppen untersucht wurde und wird (Rose 2002; Sneddon 2003; Chandroo et al. 2004; Sneddon 2009). Ein anderer wichtiger Forschungsbereich ist zudem die Quantifizierung von Stress als Indikator für das Wohlbefinden von Fischen, welcher Anhand vom Hormonspiegel an Stresshormonen (vorwiegend Cortisol) untersucht wird (Sloman et al. 2001; Marino 2008; Galhardo und Oliveira 2009). Weiter finden auch quantitative Bewertungen von Verletzungs-, Wachstums- und Mortalitätsraten Anwendung.

²⁴ End- oder Grosshirn beim Fisch

3.2.2.1 Die physiologische Grundlage von Schmerz

Die im Kontext dieser Arbeit verwendete Definition von Schmerz ist „eine unangenehme sensorische und emotionale Wahrnehmung, welche mit einer aktuellen oder potentiellen Schädigung von Gewebe assoziiert wird“ (Sneddon 2011).

Schmerz ist somit als Schmerzempfindung oder auch Schmerzwahrnehmung definiert. Voraussetzung für eine Schmerzwahrnehmung, ist die Schmerzrezeption: Ein schmerzauslösender Reiz (thermisch, mechanisch oder chemisch) wird über Schmerzrezeptoren registriert und mit einer reflexiven Reaktion ohne Beteiligung des Hirns beantwortet. Zur Schmerzwahrnehmung müssen zusätzlich die für die Verarbeitung der Schmerzsignale relevanten Hirnregionen und eine Verbindung von der Peripherie zu diesen Hirnregionen bestehen. Weiter müssen Opioid-Rezeptoren sowie endogene Opioide vorhanden sein (Sneddon 2009). Wird ein Tier einem schmerzauslösenden Reiz ausgesetzt, sollte es sich als Reflexantwort vom Stimulus sehr schnell wegbewegen. Nimmt das Tier den Schmerz wahr, sollte es zudem schnell lernen den schmerzhaften Stimulus zu umgehen. Es sollten nachhaltige Veränderungen im Verhalten auftreten, welche zum Ziel haben, weitere Verletzungen und Schmerz zu vermeiden und den Heilungsprozess zu unterstützen (Sneddon 2009). Erfüllen Fische sowohl die neurobiologischen wie auch die verhaltensbiologischen Voraussetzungen, kann laut Sneddon (2009) davon ausgegangen werden, dass Fische Schmerz empfinden können.

Das meistverwendete Argument, dass Fische keinen Schmerz empfinden könnten, basiert auf Untersuchungen von James Rose (Rose 2002). Dieser konnte keine neuronale Verbindung finden, welche darauf schliessen liesse, dass bei Schmerzrezeption neuronale Signale höhere Bereiche im Fischhirn erreichen würden. Zudem verfügten Fische nicht über einen hochentwickelten Neocortex (Grosshirnrinde) mit limbischem System, der bei Primaten und Menschen als Voraussetzung zur Schmerzwahrnehmung im Hirn gilt (Rose 2002).

Nur kurze Zeit später erschienen jedoch Forschungsarbeiten, welche diese Position in Frage stellen. Lynne Sneddon (2003) fand, dass nach Injektion von Bienengift und Essigsäure Regenbogenforellen physiologische und verhaltensbiologische Reaktionen auf diese Gifte zeigten, welche jedoch nicht auftraten, wenn dem Fisch vorangehend Morphinum verabreicht wurde. Diese Resultate und analoge Versuche von Victoria Braithwaite (2010) an Goldfischen (*Carassius auratus*) lassen vermuten, dass Fische Schmerzen wahrnehmen können. Studien von Portavella et al. (2002) unterstützen die Forschungsergebnisse von Sneddon. Darin konnte gezeigt werden, dass das Telencephalon von Fischen eine funktionelle Ähnlichkeit mit dem limbischen System von Tetrapoden hat. Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass sowohl Opioidrezeptoren als auch Enkephalin-ähnliche, endogene Substanzen im Nervensystem von Fischen zu finden sind (Gonzalez-Nunez und Rodriguez 2009).

Weitere Versuche von Sneddon zeigten mittels bildgebender funktionaler Magnetresonanz auf, dass im Gehirn von Karpfen, welche mit schmerzauslösenden Substanzen behandelt wurden, eine erhöhte Aktivität festgestellt wurde (Sneddon 2006; Sneddon 2009). Entsprechende Untersuchungen an Regenbogenforellen, Atlantischem Lachs und Goldfischen stützen diese Resultate (Dunlop und Laming 2005; Nordgreen et al. 2007), wobei die Aktivität je nach Stimulustyp variierte (z. B. einfache Berührung vs. potentiell schmerzauslösende Stimulation). Zusätzlich wurde nach einer schmerzhaften Stimulation eine erhöhte Genexpression festgestellt (Reilly, Quinn et al. 2008).

Nebst vielen neurobiologischen Studien weisen auch viele verhaltensbiologische Studien auf eine mögliche Schmerzwahrnehmung bei Fischen hin. Regenbogenforellen, welche eine Injektion von Essigsäure in ihre Unter- und Oberlippen bekamen, rieben diese am vorhandenen Substrat (Ashley et al. 2009) und verringerten die Fressaktivität (Sneddon 2003; Braithwaite

2010). Die beobachtete Verringerung der Schwimmaktivität könnte ebenfalls zur Prävention von weiterem Schmerz und Schaden dienen (Reilly et al. 2008; Ashley et al. 2009). Weiter liess sich eine massive Erhöhung der Atemfrequenz bei verringerter Schwimmaktivität (Ashley et al. 2009) sowie ein verringertes Fluchtverhalten feststellen (Braithwaite 2010). Da diese Verhaltensweisen durch zusätzliche Injektion eines Schmerzmittels (Morphium) (Sneddon 2003) signifikant reduziert wurden, lässt dies darauf schliessen, dass diese Verhaltensweisen spezifisch für Schmerzwahrnehmung sind.

Trotz all dieser Resultate seien diese Studien gemäss Volpato (2009) und Wynne (2010) nicht ausreichend, um zu beweisen, dass Schmerzempfindung bei Fischen eine zwingende Folge von Schmerzrezeption ist. Gehirnaktivität alleine sei meist nicht ausreichend, um einen emotionalen Zustand (in diesem Fall Leiden in Form der Schmerzwahrnehmung) nachzuweisen (Volpato 2009).

Sneddon (2009) diskutiert deshalb die Grenzen der Nachweisbarkeit von Schmerz bei Fischen und kommt zu folgendem Schluss: Falls die Wissenschaft akzeptiert, dass die Definition von Schmerz bei Tieren nicht die Messbarkeit von subjektiven Erfahrungen beinhalten kann, würden Fische die Kriterien für tierischen Schmerz erfüllen (Sneddon 2009). Fische könnten somit eine, wenn auch nicht der Definition von menschlichem Schmerz entsprechende, negative Wahrnehmung empfinden. Deshalb sei es wichtig, Reize, die solche negativen Wahrnehmungen auslösen, zu minimieren (Sneddon 2009). Die Suche nach unterschiedlichen Reizen, welche bei Fischen zu Schmerzrezeption führen, ist ein wichtiges und aktuelles Forschungsthema, um das Fischwohl zu verbessern.

In welcher Weise Fische Schmerz erfahren können, wurde bis zum jetzigen Zeitpunkt nicht aufgezeigt. Dass Fische auf schmerzauslösende Reize in einer Form reagieren, welche über einen einfachen Reflex hinausgeht und mit spezifischen Verhaltensmustern beantworten, scheint jedoch gesichert. Um das Wohlbefinden von Fischen zu erhöhen, sollten deshalb solche schmerzauslösende Reize wo möglich vermieden werden. Wo dies nicht möglich ist, können Schmerzmittel eingesetzt werden, deren speziesspezifische Wirkung jedoch noch weiterer Untersuchung bedarf (Sneddon 2012).

3.2.3 Ethologisch ergänzender Ansatz

Einen ganzheitlichen Ansatz bietet der ethologische Ansatz (Volpato 2009). Dabei werden sowohl das Verhalten und der Zustand des Organismus wie auch seine Umgebung betrachtet. Volpato (2009) kritisiert, dass Wissenschaftler oft nicht in der Lage sind, die komplexen Zusammenhänge zu verstehen, welche Verhalten auslösen. Somit werden auch Emotionen, Kognition, Lernfähigkeit, Präferenzen und Auswahl nur unzureichend verstanden. Dies kann zu Fehleinschätzungen bezüglich des Wohlbefindens von Fischen führen. Aus diesem Grund müssen bislang wenig untersuchte, ethologische Indikatoren gemeinsam mit gut untersuchten, physiologischen Indikatoren betrachtet werden, um die erstgenannten besser zu verstehen. Durch diese Kombination unterschiedlichster Indikatoren soll eine Fehleinschätzung minimiert und das allgemeine Wissen über Fischwohl vergrössert werden (Ashley 2007). Auf unterschiedliche Indikatoren wird in Kapitel 5 eingegangen.

4. Aktuelle Forschungsansätze zu potentiell aversiven Faktoren

Das Fischwohl kann nicht isoliert betrachtet werden. Eine Vielzahl von sich meist überschneidenden Faktoren kann das Wohlbefinden beeinflussen. Nachfolgend wird eine Auswahl von Faktoren aufgezeigt, welche nach dem jetzigen Stand der Forschung einen Einfluss auf das Wohl der Fische haben können. Dabei wird vorwiegend auf die Aufzucht und Mast von Salmoniden, insbesondere von Regenbogenforellen, eingegangen.

4.1 Gesundheit

Zu den am einfachsten nachweisbaren Basiskriterien für ein verringertes Fischwohl gehören mangelhafte Gesundheit sowie hohe Mortalität. Im nachfolgenden werden einige wichtige gesundheitsrelevante Themen kurz umrissen.

4.1.1 Krankheiten

Gewisse Krankheiten haben mit der Intensivierung der Fischmastbetriebe stark zugenommen (Pope et al. 2002). Viele Krankheitserreger sind ubiquitär in der Umwelt und führen nur zu einer Erkrankung, falls das Immunsystem des Fisches sehr geschwächt ist (EFSA 2008c). Da Fische unter intensiven Haltungsbedingungen durch Stress oft ans Limit ihrer physiologischen Leistungsfähigkeit gelangen, werden sie anfälliger für Krankheiten (Hastein und Oie 2004). Deshalb sind oft nicht primär die Krankheitserreger die Hauptursache für den Krankheitsausbruch, sondern vielmehr die Haltungsbedingungen an sich (EFSA 2008a). Durch hohe Besatzdichten erhöht sich zudem die Ansteckungsgefahr erheblich (Hastein und Oie 2004), was oft zu einer erhöhten Mortalität führt (Branson 2008). Krankheitsausbrüche können somit ein Hinweis auf mangelhafte Haltungsbedingungen sein (EFSA 2008a).

Krankheiten können durch Viren, Bakterien, Pilze oder Parasiten ausgelöst werden (Ashley 2007). Für gewisse Viruserkrankungen konnten Impfungen entwickelt werden. Zur weiteren Diskussion über Krankheiten sei auf *Fish Diseases and Disorders, Vol 1-3* (Woo 2006; Leatherland 2010; Woo 2011) hingewiesen.

4.1.2 Impfungen und Nebeneffekte

Mit der Entwicklung von Injektionsimpfungen konnten diverse, zu früherer Zeit schwer zu bekämpfende Krankheiten und die damit verbundenen Medikamentenmengen in der Aquakultur reduziert werden (FAWC 1996; CIWF 2009). Gewisse Krankheiten wie infektiöse Pankreasnekrose bleiben jedoch ein ernsthaftes Problem (CIWF 2009).

Nebst dem positiven Effekt der Krankheitskontrolle weisen Injektionsimpfungen gemäss EFSA (2008a) auch negative Nebeneffekte auf:

1. Vor dem Impfvorgang werden die Fische auf engem Raum gesammelt. Dies kann zu Stress führen. Das nachfolgende Anästhesieren und die Injektion können Schmerz auslösen (EFSA 2008a).

2. Für Lachse wurde festgestellt, dass geimpfte Fische eine geringere Wachstumsrate aufweisen als nicht geimpfte (Sorum und Damsgard 2004). EFSA (2008a) vermutet ähnliche Effekte für Forellen.
3. Injiziert wird oft in die Bauchhöhle. Um die Immunreaktion zu erhöhen, wird dem eigentlichen Impfstoff oft eine Emulsion aus Öl und Wasser beigegeben, was zu einer Entzündung, Vernarbung und Melanisierung des betroffenen Gewebes führen kann (EFSA 2008a). Nebst einer Verringerung der Lebensqualität für die Fische hat dies auch einen negativen Einfluss auf die Fleischqualität.

Als Alternative zu Injektionsimpfungen wird an der Entwicklung von Impfungen geforscht, welche oral über das Futter (Ashley 2007) oder perkutan in einem speziellen Immersionsbad aufgenommen werden können (EFSA 2008a). In der Schweiz sind Impfungen gegen infektiöse hämatopoetische Nekrose sowie virale hämorrhagische Septikämie verboten²⁵.

4.1.3 Mortalität

In der Wildnis ist eine hohe Mortalität für Fische aufgrund von Prädatoren normal. In der Aquakultur sind Fische jedoch zu einem Grossteil vor Prädatoren geschützt, wodurch Mortalitätsraten auf haltungs- und krankheitsbedingte Ursachen zurückzuführen sind. In Schottland sind die Mortalitätsraten für Smolts über 20% (FRS 2007). Poppe et al. (2002) stellen die Frage in den Raum, ob solch hohe Mortalitätsraten für Tiere unter menschlicher Obhut aus ethischer Sicht legitim sind.

4.1.4 Ernährung

Um für den Transport und andere Managementpraktiken den Metabolismus der Fische und somit den Sauerstoffbedarf und die Anreicherung von Stoffwechselprodukten zu verringern, werden Fische oft mehrere Tage lang nicht gefüttert (Ashley 2007). Inwieweit sich dies auf das Wohlbefinden von Fischen auswirkt, ist zur Zeit nicht bekannt (Ashley 2007). FAWC (1996) empfiehlt jedoch eine Hungerphase von 48 h für Regenbogenforellen nur dann zu überschreiten, wenn dies positive Einflüsse auf das Wohlbefinden der Fische hat. Nach Southgate (2008) wirkt sich der mangelnde Zugang zu Nahrung negativ auf das Wohlbefinden von Fischen aus. Dabei beruft er sich auf die fünf Freiheiten welche in Kapitel 3.2 erläutert wurden. Neue Forschungsergebnisse zeigen jedoch keinen negativen Einfluss auf das Cortisollevel von Regenbogenforellen (Ramsay et al. 2009).

Ein weiterer Grund, dass Fische weniger bis gar nicht gefüttert werden, sind tiefe Marktpreise. Für den Betrieb kann es finanziell interessant sein, die Fische langsamer wachsen zu lassen, bis die Preise sich erholt haben (CIWF 2009).

Durch Optimierung der Ernährung kann andererseits das Wohlbefinden von Fischen erhöht werden. Tort et al. (2004) konnten nachweisen, dass die in den Wintermonaten oft auftretende Schwächung des Immunsystems von Doraden (*Sparus aurata*) durch erhöhte Vitamin- sowie

²⁵ Tierseuchenverordnung Abschn. 2. Art. 283

Spurenelementgehalte im Futter verhindert werden kann. Den gegenteiligen Effekt hat natürlich unzureichendes Futter. Mangelernährung führt zu Fehlentwicklung und einer Schwächung des Immunsystems, wodurch die Fische anfälliger für Pathogene werden. Dies ist gemäss eigenen Beobachtungen ebenfalls bei überwinterten Karpfen zu beobachten.

Winberg et al. (2001) konnten zudem aufzeigen, dass durch erhöhte L-Tryptophan-Konzentrationen im Futter das Aggressionsverhalten von juvenilen Regenbogenforellen verringert werden konnte.

Dies zeigt, dass durch entsprechende Ernährung verhaltensbiologische wie physiologische Parameter beeinflusst und so Stress und Krankheiten minimiert werden können.

4.1.5 Deformationen und Missbildungen

Zuchtfische können genetische, ernährungs- oder haltungsbedingte Deformationen und Missbildungen von Organen und Skelett aufweisen (Ashley 2007). Diese haben in unterschiedlichem Mass einen Einfluss auf das Wohlbefinden von Fischen. Eine Auswahl ist nachfolgend gegeben.

1. Missbildungen am Skelett beinhalten Fehlentwicklungen von Wirbelsäule, Schädel sowie Kiefer (EFSA 2008a). Diese beeinträchtigen das Schwimm- und Fressverhalten und somit die Konkurrenzfähigkeit um Nahrung (Ashley 2007).
2. Missbildungen am Herz können zu verringerter Stresstoleranz und somit erhöhter Mortalität während managementspezifischen Tätigkeiten führen (Hastein und Oie 2004).
3. Fehlentwicklung der Flossen aufgrund von Fehlernährung (Cahu et al. 2003).
4. Verletzungen der Flossen und Haut aufgrund aggressiver Interaktionen und/oder durch die Wände des Beckens können zu Infektionen und permanenter Deformation von Flossen und Haut führen (St-Hilaire et al. 2006; Ellis et al. 2009).
5. Verletzung und Deformation von Wirbelsäule und Haut durch unsachgemässes Handling bei der Sortierung (Schmidt 1998).
6. Katarakte an Augen aufgrund von Mangelernährung (Histidinmangel) (Hastein und Oie 2004).
7. Hautschädigung und Stress aufgrund zu hoher Sonneneinstrahlung (variiert zwischen Spezies) (Blazer et al. 1997; Manek et al. 2012).

4.2 Genetik

Neben den Haltungsbedingungen hat auch die Genetik einen starken Einfluss auf die Gesundheit und somit auf das Wohlbefinden von Fischen.

4.2.1 Selektive Züchtung

Viele Fischarten wurden im Vergleich zu anderen (terrestrischen) Nutztieren relativ spät domestiziert und befinden sich noch nahe der natürlichen Genetik (Mignon-Grasteau et al. 2005). In Europa gezüchtete Regenbogenforellen stammen jedoch zu 70% aus selektiver Züchtung (EFSA 2008a). Durch selektive Züchtung konnte zwar eine Erhöhung der Wachstumsraten von Lachsen erreicht werden (EFSA 2008c), doch konnte dies auch mit einem erhöhten Auf-

treten von Katarakten (Ersdal et al. 2001) und Herzdeformationen in Verbindung gebracht werden (Pope et al. 2003). Dem Fischwohl zuträgliche Errungenschaften der künstlichen Selektion sind vorwiegend eine Erhöhung der Resistenz gegen diverse Krankheiten (EFSA 2008a) sowie eine erhöhte Stresstoleranz (Pottinger und Pickering 1997; Pottinger 2006). Selektive Züchtung kann somit positive wie auch negative Einflüsse auf die Gesundheit und das Wohlbefinden von Fischen haben.

4.2.2 Verweiblichte Fische: Sex reversal Technik und Triploidie

Da bei vielen Spezies weibliche Fische ein grösseres Gewicht bei Erreichen der Geschlechtsreife aufweisen und die innerartliche Aggression geringer ist, werden durch die sogenannte „sex reversal“-Technik verweiblichte Fische produziert²⁶. Oft wird dies zudem mit Triploidie²⁷ kombiniert. Unter guten Umweltbedingungen wiesen triploide, verweiblichte Regenbogenforellen gemäss Wagner et al. (2006) keine Unterschiede zu diploiden Regenbogenforellen in Wachstums- oder Überlebensraten auf. Demgegenüber stehen Forschungsarbeiten von Wall und Richards (1992), Johnson et al. (2004) sowie Madsen et al. (2000), welche für triploide, verweiblichte Regenbogenforellen und Lachse erhöhte Deformationen am Skelett, Katarakte an Augen sowie geringere Wachstums- und Überlebensraten feststellten. Für ausschliesslich „sex reversed“-Fische konnten bislang gemäss CIWF (2009) keine negativen Auswirkungen auf das Wohlbefinden von Fischen gefunden werden.

4.2.3 Gentechnik

Gentechnisch veränderte Fische findet man bislang nur unter Forschungsbedingungen und dort vorwiegend bei atlantischen Lachsen (*Salmo salar*). Beobachtete negative Begleiterscheinungen sind erhöhte Anfälligkeit auf Krankheiten und Stress (Jhingan et al. 2003) sowie Missbildungen an Schädel, Unterkiefer und Kiemendeckel (Devlin et al. 1995). Diese erschweren die Nahrungsaufnahme sowie die Atmung und führen so zu einer schlechteren Lebensqualität (Dunham und Devlin 1999).

²⁶ Bei „Sex reversal“ wird die gleichgeschlechtliche Brut während der ersten paar Fressstagen mit einem Spezialfutter gefüttert, welches mit Sexualhormonen des anderen Geschlechtes angereichert ist. Dies führt zur Entwicklung von Gonaden des anderen Geschlechtes und unterdrückt die Entwicklung der Gonaden des eigenen Geschlechtes. Dadurch entstehen phänotypisch männliche Fische, die einen weiblichen XX-Chromosomensatz aufweisen, respektive phänotypisch weibliche Fische, die einen männlichen XY-Chromosomensatz aufweisen (EFSA(a) 2008).

²⁷ Während der Inkubation werden die Eier Druck- oder Temperaturshocks ausgesetzt, was zu einem triploiden Chromosomensatz führt und die Entwicklung der Gonaden verhindert (EFSA(a) 2008). Dadurch werden die Fische steril.

4.3 Mastbetrieb

4.3.1 Besatzdichte

Bei der Bewertung der Besatzdichte ergeben sich zwei unterschiedliche Kriterien.

Erstens muss die Wasserqualität den physiologischen Anforderungen der Fische entsprechen. Sind die Wasserdurchflussrate oder die Filterleistung sowie die Sauerstoffzufuhr hoch, ergibt dies eine hohe mögliche Besatzdichte.

Zweitens wird die mögliche Besatzdichte durch physiologische und verhaltensbiologische Kriterien des Fisches selbst beschränkt. Mögliche Folgen von erhöhter Besatzdichte sind:

1. Anfälligkeit gegenüber Krankheiten und gegenüber deren schnelleren Verbreitung (Hastein und Oie 2004).
2. Erhöhtes Auftreten von physischen Verletzungen (Ellis et al. 2002; North et al. 2006).
3. Schlechte körperliche Verfassung und Stress (erhöhtes Glukose- und Cortisollevel im Blutplasma) (Turnbull et al. 2005).
4. Verringerte Wachstumsraten, verringerte Nahrungsaufnahme und schlechtere Futterverwertung (Ellis et al. 2002).
5. Aggression, die zu Verletzungen, Stress und hoher Nahrungskonkurrenz führt, wodurch untergeordnete Fische weniger Futter bekommen und noch langsamer wachsen (Ellis et al. 2002).

Aufgrund dieser negativen Einflüsse wurden für Regenbogenforellen maximale Besatzdichten definiert, um das Wohlbefinden der Fische zu erhöhen. Diese sollen nach Ergebnissen von Boujard et al. (2002) 20-30 kg/m³ nicht überschreiten. Weiter wurden auch minimale Besatzdichten gefunden, unter welchen es zu negativen Einflüssen auf die Fische kommen kann. Nach North et al. (2006) führen Besatzdichten von < 10kg/m³ zu erhöhter Dominanz von grossen Fischen und somit zu erhöhtem Stress gegenüber kleineren Fischen.

4.3.2 Wasserqualität

Gemäss Person-Le Ruyet et al. (2008) wird das Wachstum von Regenbogenforellen stärker durch die Wasserqualität und weniger durch die Besatzdichte beeinflusst. Bei der Beurteilung der Wasserqualität ist es wichtig, dass unterschiedliche Parameter kombiniert betrachtet werden, da sie oft voneinander abhängen. Einen grossen Einfluss auf die Wasserqualität hat die Besatzdichte in Kombination mit dem Wasserfluss durch das System. Diese beiden Aspekte werden jedoch separat behandelt.

Auf eine ausführliche Diskussion der Parameter wird hier verzichtet und auf Autoren wie Branson (2008) verwiesen. Im Folgenden werden die wichtigsten Parameter in Bezug auf die Aufzucht und Mast von Süsswassersalmoniden kurz aufgelistet. Die Parameter können in Kategorien eingeteilt werden, welche ihre Beeinflussbarkeit durch den Betreiber des Mastbetriebes oder der Aufzuchtstation widerspiegeln (Branson 2008).

Kategorie 1:

Diese Parameter können durch den Betreiber meist durch technische Einrichtungen wie Filter, Belüftungsanlagen und die gewählte Besatzdichte beeinflusst werden:

4.3.2.1 Sauerstoff

In der Aquakultur wird bei hoher Besatzdichte Sauerstoff mittels Belüftung dem Wasser zugeführt. Zu tiefer Sauerstoffgehalt (<5 mg/L) führt zu Anorexie (verminderte Nahrungsaufnahme), Atemnot und Sauerstoffarmut im Gewebe. Dies führt zu Bewusstlosigkeit und anschliessend zum Tod (Wedemeyer 1996).

4.3.2.2 Ammonium/Ammoniak

Ammonium (NH_4^+) wird vorwiegend als Primärmetabolit des Katabolismus von Proteinen aus der Nahrung freigesetzt. Fische exkretieren Ammonium über die Kiemen (Evans et al. 2005). Ammonium (NH_4^+) und Ammoniak (NH_3) liegen in wässrigen Lösungen in einem Gleichgewicht vor. Bei pH-Werten über 8.5 liegt das Gleichgewicht deutlich stärker auf Seiten von Ammoniak, bei pH Werten unter 7.5 deutlich stärker auf Seiten von Ammonium. Bei akuter Toxizität durch Ammoniak wird das zentrale Nervensystem von Fischen geschädigt (Randall und Tsui 2002). Der LC_{50} Wert für akute Toxizität liegt gemäss Thurston und Russo (1983) für 96 h zwischen 0.16 bis 1.1 mg $\text{NH}_3\text{-N/L}$, nach Fent (2007) zwischen 0.25 bis 0.41 mg $\text{NH}_3\text{-N/L}$. Kurzzeitig hohe Ammoniakkonzentrationen können von Fischen je nach physiologischer Verfassung unterschiedlich gut toleriert werden (Randall und Tsui 2002).

Beobachtete chronische Wirkungen bei 0.01 bis 0.1 mg $\text{NH}_3\text{-N/L}$ während einer Exposition von mehreren Wochen beinhalten Wachstumsreduktion, Mortalität, Missbildungen und Organschäden (Fent 2007).

Das Limit, bei dem keine chronische Toxizität auftritt (NOEC)²⁸, ist sehr umstritten. In der Literatur zu findende Werte variieren um mehr als einen Faktor 10. Wedemeyer (1996) empfiehlt ein oberes Limit von 0.02 mg $\text{NH}_3\text{-N/L}$, wogegen Haywood (1983) ein oberes Limit von 0.002 mg $\text{NH}_3\text{-N/L}$ befürwortet. Gemäss Fent (2007) liegt der NOEC -Wert zwischen 0.005-0.014 mg $\text{NH}_3\text{-N/L}$.

4.3.2.3 Nitrit und Nitrat

Nitrit entsteht bei der Oxidation von Ammonium durch nitrifizierende Bakterien (*Nitrosomas sp.*) (Williams und Lewis 1986). Aufgenommenes Nitrit diffundiert vom Blutplasma in die Erythrozyten, wo es im Hämoglobin Fe^{2+} zu Fe^{3+} oxidiert. Dadurch wird der Sauerstofftransport verringert, was zu Hypoxie führt (Branson 2008). Akute Toxizität [LC_{50} , 96h] liegt bei 0.14-12.1 mg $\text{NO}_2\text{-N/L}$ (Fent 2007). Der NOEC Wert wird von Wedemeyer (1996) als 0.03 mg $\text{NO}_2\text{-N/L}$ angegeben, wobei die Konzentration von Chlorid und anderen Ionen einen starken Effekt auf die Toxizität von Nitrit hat (Wedemeyer 1996). Das durch die Oxidation von Nitrit entstehende Nitrat (z. B durch *Nitrobacter sp.*) stellt bei Durchflussanlagen meist kein Problem für Salmoniden dar (Wedemeyer 1996). Schäperclaus (1998) empfiehlt dringend, Konzentrationen über 200 mg/l NO_3 zu vermeiden. Sie treten in Durchflussanlagen praktisch im Normalbetrieb jedoch nie auf.

²⁸ No-Observed-Effect-Concentration

4.3.2.4 Kohlendioxid

In Durchflussanlagen stammt das meiste CO₂ aus dem Metabolismus der Fische (Branson 2008). Hohe CO₂-Konzentrationen im Wasser führen dazu, dass Fische das durch den Metabolismus entstehende CO₂ nicht mehr diffusiv ausscheiden können. Dies führt zu einer Absenkung des Blut-pH, wodurch die Sauerstofftransportkapazität der Erythrozyten verringert wird (Branson 2008). Eine weitere beobachtete Schädigung sind Ablagerungen von Calcium-Salzen in der Niere, so genannte Nephrokalzinose (Fikri et al. 2000). Da die Toxizität von CO₂ stark von Alkalinität, pH und gelöstem organischem Material abhängt (Noble und Summerfelt 1996), variieren die empfohlenen NOEC-Werte zwischen 9 und 30 mgCO₂/L (Heinen et al. 1996). Erst kürzlich wurde zudem erstmals nachgewiesen, dass erhöhte CO₂-Konzentrationen in Fischen eine Schmerzrezeption auslösen (Mettam et al. 2012).

Kategorie 2.

Diese Parameter hängen vorwiegend von der Wasserquelle ab und können somit nicht direkt durch den Betreiber manipuliert werden.

4.3.2.5 pH

Wasser sollte in der Aquakultur einen pH von 6 nicht unterschreiten (Branson 2008). Werte darunter hindern Fische an der Ausscheidung von Ammonium und CO₂ (Randall und Wright 1989). Weiter wurde bei Regenbogenforellen eine Verringerung der Schwimm-Leistungsfähigkeit festgestellt (Ye und Randall 1991). Der pH beeinflusst zudem weitere Parameter der Wasserchemie wie z. B. die Dissoziation von Ammonium und die Löslichkeit von toxischen Metallionen (Wedemeyer 1996).

4.3.2.6 Alkalinität

Eine gewisse Mindestkonzentration an Alkalinität ist nötig, um das durch Respiration entstehende CO₂ zu puffern und ein Absinken des pH-Werts unter 6 zu verhindern (Branson 2008). Ist die Alkalinität zu hoch, kann dies wie bei zu tiefem pH die Ausscheidung von Ammonium verhindern, was zu den oben beschriebenen toxischen Effekten führen kann (Wedemeyer 1996). Die Alkalinität (hier als CaCO₃) sollte deshalb zwischen 20 mg/L und 100-150 mg /L liegen (Wedemeyer 1996).

4.3.2.7 Wasserhärte

Um Ionen durch aktiven Transport gegen einen Konzentrationsgradienten ins Blut aufzunehmen, benötigen Fische Energie. Je geringer dieser Gradient ist (je höher die Konzentration dieser Ionen im Wasser), desto weniger Energie wird benötigt, um den Ionengehalt im Blut zu regulieren (Wedemeyer 1996).

4.3.2.8 Temperatur

Der empfohlene Temperaturbereich für Salmoniden beträgt 7-18 °C für die Mast und 8-10°C für Eier und Larven (Branson 2008). Viele Wasserparameter werden durch die Temperatur beeinflusst: die Löslichkeit von Sauerstoff, die Biomasseabbau- und Photosynthese-Raten beeinflussen Sauerstoffverbrauch/Produktion (in Teichen wichtig) sowie die Dissoziation von Ammonium (Branson 2008). Diese Faktoren können die Gesundheit von Fischen beeinträchtigen (siehe oben).

4.3.2.9 Schwermetalle

Schwermetalle wie Kupfer, Cadmium, Blei und Zink können für Fische toxisch wirken. Neben natürlichen Quellen, wie der Verwitterung von Gestein, können auch industrielle Abwässer und Herbizide zu einem erhöhten Eintrag führen. Die Bioverfügbarkeit und Toxizität dieser einzel-

nen Schwermetalle hängt stark von Faktoren wie pH, Ionenstärke und Konzentration an suspendierten Stoffen ab (Wedemeyer 1996).

Kategorie 3:

Diese Parameter hängen sowohl von der Qualität des einflussenden Wassers sowie von der Bewirtschaftungstechnik ab.

4.3.2.10 Suspendierte Stoffe

Suspendierte Stoffe (organisches oder mineralisches Material > 1 µm) beeinflussen die Gesundheit von Fischen. Mögliche Effekte sind gemäss Wedemeyer (1996) Abschürfung und Verstopfung der Kiemen, Ersticken der Eier während der Inkubation, Abschürfung der Haut und Beeinträchtigung der visuellen Nahrungssuche. Wedemeyer (1996) empfiehlt eine maximale Konzentration von 80-100 mg SS/L.

4.3.2.11 Gasübersättigung

Zu einer Übersättigung an gelösten Gasen kann es kommen, wenn die Gaslöslichkeit aufgrund einer Druckabnahme oder einer Temperaturerhöhung abnimmt oder zu viel Luft bzw. Sauerstoff über Belüftungspumpen eingetragen wird. Für Fische wird ein erhöhter Gesamtgasgehalt ein Problem, wenn sich dadurch Gasblasen (Gasembolien) im Blutgefässsystem bilden. Diese Embolien können zum Absterben von Gewebe sowie zum Tod führen (Wedemeyer 1996).

4.3.3 Wasserfluss

Die Menge an frischem Wasser, welches pro Zeiteinheit in die Anlage fliesst, hat einen massgebenden Einfluss auf die Wasserqualität. Neben dem Eintrag von Sauerstoff führt es zu einer Verdünnung und zum Austrag von schädlichen Stoffen wie Ammonium, Nitrit, CO₂ und suspendierten Stoffen (Branson 2008). Zusätzlich kann durch entsprechendes Systemdesign eine Strömung von 1-2 Körperlängen/Sekunde ausgebildet werden, welche einen positiven Effekt auf die physiologische Leistungsfähigkeit und das Wachstum der Fische sowie eine Verringerung von Flossenverletzungen zur Folge haben kann (Jorgensen und Jobling 1993).

4.3.4 Schwarmbildung

Territorialverhalten dominiert bei vielen Salmoniden in tiefen Besatzdichten, wogen mittlere bis hohe Besatzdichten zu dominanzbasierten, sozialen Strukturen führen (Larsen et al. 2012). Erhöhte Fliessgeschwindigkeiten in Kombination mit erhöhten Besatzdichten können gemäss Larsen et al. (2012) zu einer künstlichen Schwarmbildung beitragen, was zu einer Reduktion von Stress und Aggression führt (Christiansen et al. 1992; Brannas 2009). Dadurch können teilweise die negativen Folgen der erhöhten Besatzdichte verringert werden. Inwieweit die räumliche Einschränkung auf Schwärme in Mastbetrieben einen negativen Einfluss hat, wurde bisher nicht untersucht.

4.3.5 Lärm

Es bestehen einige Forschungsarbeiten, welche sich mit der Beeinflussung von Fischen durch akustische Signale beschäftigen. Dabei wird oft zwischen so genannten „Hörspezialisten“ und

„Hörgeneralisten“ unterschieden, also zwischen Fischarten mit ausgeprägtem und solchen mit primitivem Gehör (Popper et al. 2003; Smith et al. 2004).

In der Aquakultur sind Fische oftmals chronischem Lärm ausgesetzt, vor welchem sie sich nicht zurückziehen können (Bart et al. 2001). Anhand von Langzeitexperimenten konnte für Regenbogenforellen, typische „Hörgeneralisten“, keine Verringerung von Wachstumsrate, Gehörfunktion, Überlebensrate und Krankheitsresistenz festgestellt werden (Wysocki et al. 2007; Davidson et al. 2009). Jedoch zeigten Regenbogenforellen in den ersten Stunden der Beschallung eine potentielle Stressreaktion in Form von stark erhöhter Schwimmaktivität (Davidson et al. 2009).

Da sich Fische in der Ausprägung ihrer Gehörfunktion stark unterscheiden, darf von diesen Ergebnissen jedoch nicht auf andere Fischarten geschlossen werden. Karpfen und Welse verfügen über ein sensitives Gehör (Wysocki et al. 2007). Banner und Hyatt (1973) fanden zudem verminderte Wachstumsraten für Zahnkärpflinge (*Fundulus similis*) und Edelsteinkärpflinge (*Cyprinodon variegatus*) bei erhöhtem Lärmlevel (20 dB höher als Kontrolle).

Goldfische, ebenfalls Hörspezialisten, zeigten bei Experimenten mit chronischer Lärmemission Gehörschäden und stark erhöhtes Cortisol- sowie Glukoselevel im Blut. Tilapia (*Oreochromis niloticus*), ein Hörgeneralist, zeigten keine dieser Effekte (Smith et al. 2004).

Gemäss diesen Forschungsergebnissen können Fische sehr speziesspezifisch auf akustische Emissionen reagieren. Das Wohlbefinden von Fischen kann dadurch negativ beeinflusst werden. Weitere Untersuchungen sind nötig, um das Wissen in diesem Bereich zu festigen.

4.3.6 Raubtiere

EFSA (2008a) betont, dass durch wiederholte und lang anhaltende Attacken von Raubtieren das Wohlbefinden von Fischen massiv beeinträchtigt werden kann. Die gesamte Population wird bei der Jagd einer Stresssituation ausgesetzt. Zusätzlich werden Fische von Raubtieren oft verletzt, aber nicht gefangen (EFSA 2008b). Dies kann das Wohlbefinden von Fischen zusätzlich beeinträchtigen.

4.3.7 Grössensortierung

Obwohl ein Ziel der Sortierung von Fischen die Reduktion von Stress ist, verursacht sie jedoch an sich Stress. Die der Grössensortierung vorausgehende Konzentration der Fische auf sehr kleinem Raum führt zu sehr hohen Fischdichten. Dies erhöht den Stress und kann zu Verletzungen von Schuppen, zur Bildung von Hautgeschwüren, Augen- und Maulpartieverletzungen sowie Prellungen führen (Wall 2000). Weiter wird vor allem bei der Entnahme der Fische aus dem Wasser die Schleimhaut verletzt (Willoughby 1999). Dies macht Fische anfälliger für Parasiten und Krankheitserreger (Willoughby 1999). Fische sollten deshalb nur wenn absolut nötig aus dem Wasser entnommen werden (Ashley 2007).

4.3.8 Fütterungstechnik

Die meisten Verletzungen, die sich Fische gegenseitig zufügen, geschehen während der Fütterung (Ashley 2007). Zwar konnten Greaves und Tuene (2001) feststellen, dass gewisse Verletzungen bei atlantischem Heilbutt (*Hippoglossus hippoglossus*) aufgrund fehlgeleiteter

Fressbewegungen geschahen. Der Grossteil der Verletzungen geschieht jedoch durch die Konkurrenz um Futterpellets (Greaves und Tuene 2001). Untersuchungen mit Regenbogenforelle und Seesaibling zeigten, dass unter Verwendung eines fischgesteuerten Futterautomaten dominante Individuen die Futterquelle am stärksten nutzten und am meisten Beissverhalten zeigten (Alanara und Brannas 1996). Die durch Grössenunterschiede bereits bestehende Hierarchie wird dadurch noch verstärkt, da dominante Individuen aufgrund besseren Futterzuganges noch schneller wachsen (Alanara und Brannas 1997). Untergeordnete Regenbogenforellen, Bachforellen (*Salmo trutta*) sowie Seesaiblinge frassen hauptsächlich zu Nachtzeiten, wenn die dominanten Individuen ihre Fressaktivität grösstenteils eingestellt hatten (Alanara und Brannas 1997; Alanara et al. 2001). Zudem zeigten untergeordnete und kleinere Fische ein höheres Serotoninlevel im Gehirn, was als Stressreaktion gedeutet werden kann (Alanara et al. 1998). Um einer Konkurrenz um Nahrung und die damit verbundenen Stressreaktionen, Wachstumsdivergenzen sowie Verletzungen vorzubeugen, ist ein flächendeckender Futterzugang mittels Handfütterung oder entsprechender Automaten nötig (Schmidt 1998).

4.3.9 Struktur des künstlichen Lebensraumes

Die „Fisheries Society of the British Isles“ schreibt 2002 in ihrem Report, dass ein gewisser Grad an Komplexität des Lebensraumes je nach Fischart wichtig sein kann, um das Fischwohl zu verbessern. Studien mit juvenilen Regenbogenforellen geben Hinweise darauf, dass Fische, welche in strukturell mit Kiesboden, Sichtschutz und versenkten Strukturen aufgewerteten Becken bzw. Kanälen aufgezogen wurden, nach Freilassung in die Natur ein natürlicheres Verhalten aufwiesen als konventionell gezüchtete (Berejikian et al. 2000, 2001). Tatara et al. (2009) konnten hingegen keine Unterschiede bezüglich Wachstums- oder Überlebensrate von juvenilen, ausgewilderten Regenbogenforellen feststellen, welche in konventionellen oder strukturell aufgewerteten Zuchtbecken aufgezogen wurden. Diese Thematik ist besonders für Aufzuchtbetriebe wichtig, welche Nachzucht für Freilandbesetzungen produzieren.

Die Wahl der Habitate ist oft abhängig von Alter, Grösse, Geschlechtsreife, Tageszeit und Jahreszeit (Jonsson und Jonsson 2011). Eine gängige Methode, um die bevorzugten Mikrohabitate von Fischen im Freiland darzustellen, sind „suitability index curves“. Dafür werden für eine definierte Grössenklasse die Standortparameter für möglichst alle Fische einer Art in einem Gewässerabschnitt erfasst und als relative Häufigkeitsverteilung dargestellt. Daraus resultiert für jeden untersuchten Parameter eine Kurve mit idealerweise einem, teilweise auch mehreren Maximalwerten, bei welchem am häufigsten Fische gefunden wurden. Die Aussage einer solchen Untersuchung ist dann beispielsweise: Im Fliessgewässerabschnitt X bevorzugt die Fischart Y eine Wassertiefe von 30-40 cm, eine Fliessgeschwindigkeit von 10-20 cm /s, beschattete Stellen und Kies als Substrat.

Durch solche Untersuchungen können gute Aussagen für die Renaturierung von strukturalarmen Flussabschnitten gemacht werden. Für die Aufwertung von Fliesskanälen lassen sich bezüglich Hydraulik, Substrat, Verstecken und Beschattung ebenfalls Aussagen machen. Diese dienen jedoch nur als Planungsgrundlagen und müssen in vergleichenden Studien validiert werden, da eine Übertragung dieses Wissens auf Mastbedingungen nicht gesichert ist. Der Grund dafür ist, dass die Wahl des Mikrohabitats bei Salmoniden oft stark von der verfügbaren Drift-Nahrung abhängt, was neue Studien von Hauer et al. (2012) belegen. Dabei wird eine

Maximierung der Netto- Energieaufnahme²⁹ angestrebt (Guensch et al. 2001). Da das verfügbare Futter in einem intensiven Fischmastbetrieb stark von natürlichen Nahrungsquellen abweicht, ist auch die Wahl des bevorzugten Mikrohabitats unterschiedlich. Aus diesem Grund werden die Resultate von Freilandstudien an dieser Stelle zwar erwähnt, eine direkte Übertragung auf Mastbetriebe ist jedoch nicht in jedem Fall gewährleistet. Zudem werden die meisten Erhebungen in den warmen Monaten und am Tag gemacht. Untersuchungen zur Habitatwahl zu Nachtzeiten sind seltener. Eine Änderung des bevorzugten Habitats zwischen Tag und Nacht konnte für Seesaibling, Atlantischen Lachs und Bachforelle nachgewiesen werden (Heggenes und Saltveit 2007).

4.3.9.1 Tiefe und Fliessgeschwindigkeit

Gemäss Studien von Heggenes und Saltveit (2007) bevorzugen wilde Bachforellen im Freiland eher flache Mesohabitate von einem halben Meter Tiefe und einer Fliessgeschwindigkeit von durchschnittlich 0.3 m/s. Das in diesem Mesohabitat ausgewählte Mikrohabitat weist in der Nähe der Schnauze oft eine geringe Fliessgeschwindigkeit von wenigen cm/s auf (Heggenes et al. 1999; Heggenes 2002), da sich diese im Strömungsschatten von Strukturen befindet. Je grösser die Bachforellen werden, desto öfter werden sie in tieferen, langsam durchflossenen Pools mit hohem Nahrungsangebot gefunden, da diese oft energetisch am vorteilhaftesten sind (Jonsson und Jonsson 2011). Ausgewilderte Bachforellen zeigten in Untersuchungen in Portugal eine geringere Präferenz für ein charakteristisches Mikrohabitat als wilde Bachforellen (Teixeira et al. 2006).

4.3.9.2 Substratgrösse und Farbe

Bachforellen zeigen in diversen Freilanduntersuchungen eine Affinität zu sehr grobem Substrat (Gesteinsblöcke von über 20 cm Durchmesser)(Heggenes et al. 1999; Jonsson und Jonsson 2011).

Rotllant et al. (2003) fanden eine Veränderung der Stressreaktion in Abhängigkeit der Farbe der Tankwand bei Gemeinen Meerbrassen (*Pagrus pagrus*) und Karakatsoul et al. (2007) ein unterschiedliches Aggressionsverhalten bei Grossen Geissbrassen (*Diplodus sargus*). Bei Larven von Flussbarschen (*Perca fluviatilis*) konnte in Aufzuchtbecken mit schwarzer Tankwand ein höheres Wachstum als in Aufzuchtbecken mit grauen Wänden festgestellt werden (Jentoft et al. 2006).

4.3.9.3 Schutz, Beschattung und Strukturen

In der freien Wildbahn befinden sich beliebte Habitate von Bachforellen vorwiegend zwischen grossen Gesteinsblöcken (Jonsson und Jonsson 2011), unter überhängender Vegetation und Totholz (Zika und Peter 2002) sowie unterspülten Uferbänken (Hermansen und Krog 1984). Eine differenzierte Betrachtung der Strukturvariablen „Schutz“ oder „Beschattung“ ist in Freilandbeobachtungen oft nicht möglich, da sie meist mit einem erhöhten Nahrungsangebot oder geringeren Fliessgeschwindigkeiten kombiniert sind.

In Laborexperimenten mit juvenilen Seesaiblingen, welche noch in ihrer endogenen Wachstumsphase sind, wurde ein erhöhtes Wachstum, verminderte Mortalität sowie ein früheres Einsetzen der exogenen Nahrungsaufnahme festgestellt, wenn die Jungfische ein halbiertes Stück PVC Rohr als Schutz im Aufzuchtbecken hatten (Benhaim et al. 2009).

²⁹Netto-Energieaufnahme = Energie des aufgenommenen Futters – Energie, die für das Halten eines Fressplatzes mittels Schwimmbewegungen nötig ist.

Salvanes und Braithwaite (2005) konnten ein unterschiedliches Aggressionsverhalten von Dorschen (*Gadus morhua*) in Abhängigkeit vom Strukturierungsgrad des Aufzuchtbeckens feststellen. Weiter konnten sie feststellen, dass Dorsche aus unstrukturierten Haltungsbedingungen eine höhere Aktivität aufwiesen und geringere Fluchtreaktionen vor Prädatoren zeigten. In Versuchen mit juvenilen atlantischen Lachsen zeigten Millidine et al. (2006), dass durch das Vorhandensein von Versteckmöglichkeiten die Metabolismusraten der Versuchstiere signifikant sanken. Weiter wurden unter strukturreicheren Bedingungen erhöhte Fressraten festgestellt (Rodewald, et al. 2011). Dies gilt gemäss Allen-Ankins et al. (2012) auch für den Australischen Dorschbarsch (*Maccullochella peelii*).

Bei Fingerlingen von Guatemala-Antennenwels (*Rhamdia quelen*) konnte bei Vorhandensein von ausreichenden Versteckmöglichkeiten im Aufzuchtbecken eine signifikante Verringerung des Cortisollevels festgestellt werden (Barcellos et al. 2009). Hossain et al. (1998) konnten zudem für Afrikanische Welse (*Clarias gariepinus*) in Aufzuchtbecken mit ausreichenden Versteckmöglichkeiten erhöhte Wachstumsraten gegenüber von Versuchstieren aus unstrukturierten Becken feststellen.

4.3.9.4 Futterzugang

Wie zuvor erwähnt stellt der Zugang zu Nahrung eines der wichtigsten Habitats-Auswahlkriterien für wilde Bachforellen dar (Jonsson und Jonsson 2011).

Bei Zebrafischen konnte in strukturreicheren Versuchsbedingungen eine geringere Dominanz einzelner Tiere bei der Konkurrenz um Futterquellen (Basquill und Grant 1998; Carfagnini et al. 2009) und ein geringeres Aggressionsverhalten durch dominante Individuen (Carfagnini et al. 2009) festgestellt werden. Dies könnte ein gleichmässigeres Wachstum innerhalb der Population positiv beeinflussen.

4.3.10 Kunstlicht und „Photoperiod Manipulation“

Manipulation der Tagesdauer (Photoperiod Manipulation) durch Veränderung der Beleuchtung ist eine gängige Methode, um durch längere Fresszeiten das Wachstum zu beschleunigen oder um die Geschlechtsreife zu beeinflussen (Burgos et al. 2004). Bei nachtaktiven Fischen kann in Indoor-Anlagen die Wachstumsrate durch Verringern der Tageslänge vergrössert werden (Britz und Pienaar 1992), bei tagaktiven durch Verlängern der Tageslänge. Arbeiten von Burgos et al. (2004) zeigen, dass Manipulationen der Tagesdauer bei Regenbogenforellen zu einer Schwächung des Immunsystems und somit einer erhöhten Anfälligkeit gegenüber Krankheitserregern führen kann. Weiter haben Vera und Migaud (2009) bei Atlantischem Lachs, Dorsch und Europäischem Wolfsbarsch (*Dicentrarchus labrax*) eine Retinadegeneration festgestellt, wenn die Fische bei hoher Kunstlichtintensität gehalten wurden. Für Dorsche wurden in neuen Experimenten mit hoher Lichtintensität trotz akuter negativer Reaktionen wie Stress und Immunreaktion (erhöhte Lysozymaktivität) keine Langzeitschäden festgestellt, wenn die Lichtintensität nach einer gewissen Zeit wieder reduziert wurde (Cowan et al. 2011). Gemäss EFSA (2008a) ist in vielen Bereichen noch unklar, welchen Einfluss intensives Kunstlicht auf das Fischwohl hat. Vorwiegend in Bezug auf Kreislaufanlagen ist Forschung in diesem Feld nötig.

4.3.11 Transport

Probleme entstehen bereits vor dem eigentlichen Transport. Gemäss EFSA (2004) ist der Sammlungs- und Lade- bzw. Entladungsvorgang für Tiere meist der stressreichste Teil des Transportes. Um eine Verunreinigung des Wassers durch Exkremente während des Transports zu verhindern, werden die Fische im Vorfeld des Transportes nicht mehr gefüttert. Während des Transports können Fische geschädigt werden. Es kann zu Verletzungen durch physischen Kontakt mit anderen Fischen oder mit der Tankwand kommen (Cooke et al. 2004). Schlechte Konditionen wie zu starke Fischdichte sowie unzureichende Wasserqualität können zu irreparablen Schäden oder zum Tod der Fische führen (Rosten 2005). Weiter zeigten Arbeiten von Chandroo et al. (2005), dass Regenbogenforellen erhöhte Schwimmaktivität sowie erhöhten Sauerstoffverbrauch während des Transports aufwiesen. Dies sind ebenfalls Anzeichen für erhöhten Stress. Durch den Transport von Fischen und Wasser können auch Krankheitserreger verbreitet werden. Aus diesen Gründen ist es wichtig, Transporte wenn möglich zu vermeiden (Myrseth 2005).

4.3.12 Betäubung und Schlachtung

Humane Methoden zur Schlachtung von Fischen basieren auf dem Prinzip, dass diese schnell getötet werden und Angst und Schmerz auf ein Minimum reduziert wird (FAWC 1996). Dem eigentlichen Tötungsvorgang sollte deshalb eine schmerzfreie Betäubung vorausgehen (FAWC 1996). Viele Schlachtmethoden wurden jedoch nicht mit dem Zweck der Stressminimierung, sondern vielmehr mit dem Ziel einer guten Produktqualität, hoher Effizienz sowie Prozesssicherheit entwickelt (Conte 2004).

International bestehen viele Betäubungs- und Tötungsverfahren für Fische. Diese beinhalten mechanische und elektrische Verfahren sowie die Tötung durch Sauerstoffentzug. Weiter werden Fische durch Salz- oder Ammoniakbäder, Ausbluten und Enthaupten getötet. Zur Betäubung werden Elektrizität, Anästhetika sowie Kältebäder verwendet. (Robb und Kestin 2002; Stamer 2009)

In der Schweiz sind ausschliesslich der Kopfschlag sowie weitere mechanische und elektrische Verfahren zugelassen³⁰. Werden diese Methoden richtig ausgeführt, können sie bei vielen Fischarten zu sofortigem Eintritt von Bewusstlosigkeit oder Tod führen (Lines et al. 2003; Morzel et al. 2003). Dies setzt jedoch voraus, dass die verwendeten Apparaturen richtig eingestellt sind und das ausführende Personal über entsprechende Fachkenntnisse verfügt (Stamer 2009). Bei falscher Wahl der Parameter findet keine ausreichende Betäubung oder Tötung des Fisches statt (Robb et al. 2002). Diese sind folglich nur verletzt und werden allenfalls bei vollem Bewusstsein ausgeblutet oder geschlachtet. Die Wahl der richtigen Parameter ist deshalb essentiell, doch unterscheiden sich diese stark zwischen Art und Grösse der Fische sowie bei den elektrischen Verfahren von der Wasserleitfähigkeit (Lines und Kestin 2004) und sind oft noch nicht ausreichend erforscht (Stamer 2009). Transport und Handling vor der eigentlichen Betäubung oder Tötung sind zudem weitere Stressfaktoren für die Fische (Merkin et al. 2010).

³⁰ Tierschutzverordnung Art. 184 Abs. 1 i

5. Indikatoren und Erfassungsmöglichkeiten

Um die Umwelt- und Lebensbedingungen der Fische während Mast, Transport und Schlachtung zu optimieren, wurden in den letzten zwei Jahrzehnten viele Indikatoren entwickelt, um das Fischwohl zu messen. Diese Indikatoren können oft in ethologische, physiologische und morphologische Indikatoren unterteilt werden, wobei der Übergang fließend sein kann.

Ashley (2007), Volpato (2009) sowie Huntingford et al. (2007) vertreten die Ansicht, dass eine Kombination von Indikatoren das Fischwohl am besten bewerten kann. Bei der Bewertung des Fischwohls werden je nach Autor einzelne oder eine zuweilen gewichtete Kombination dieser Indikatoren verwendet. Turnbull et al. (2005) bewerteten den Zustand des Fischkörpers, der Flossen und der Konzentration von Cortisol und Glucose im Plasma. Mittels einer Multivari-
anzanalyse wurden diese Variablen zu einer einzelnen Bewertungsnote kombiniert. Eine solch erhobene Bewertungsnote hat den Vorteil, dass individuelle Haltungssysteme und Umweltbedingungen miteinander verglichen werden können und ein Gesamtüberblick über den Ist-Zustand des Individuums bezüglich des Bestandes gemacht werden kann.

Ansatz	Indikatoren			Umweltbedingungen
	Physiologische Indikatoren	Ethologische Indikatoren	Morphologische Indikatoren	Durch ethologische, physiologische und morphologische Indikatoren können einzelne Umweltparameter auf ihren Einfluss auf das Fischwohl bewertet werden. Dies ermöglicht die Definition von Grenzwerten, welche bei Nichteinhaltung das Fischwohl negativ beeinflussen.
Physiologisch-funktionaler Ansatz	Ja	Nein	Teilweise, je nach Definition	
Ethologischer Ansatz		Kombination		

Für Indikatoren zur Bewertung des Fischwohls gibt es grundsätzlich drei Anwendungsmöglichkeiten:

1. Aufwändig zu erhebende, jedoch sehr aussagekräftige Indikatoren können dazu verwendet werden, um leicht zu erhebende Indikatoren zu validieren. In der Praxis kann dann mit den leicht zu erhebenden Indikatoren gearbeitet werden.
2. Mittels Indikatoren können Umweltbedingungen wie Wasserqualität, Besatzdichte etc. evaluiert werden, unter welchen das Fischwohl minimal beeinträchtigt wird. Als Resultat werden dann diese Umweltbedingungen als Rahmenbedingungen für die Fischhaltung festgelegt (siehe Schweizer Tierschutzverordnung). Im eigentlichen Mastbetrieb müssen dann nebst Krankheiten vorwiegend die Umweltbedingungen geprüft werden. Diese Vorgehensweise stellt für den Fischwirt einen geringeren Aufwand dar, da die Messung der Umweltparameter meist weniger aufwändig als die Erhebung der Indikatorwerte ist. Durch dieses Vorgehen ist aber nicht garantiert, dass das Fischwohl nicht

negativ beeinträchtigt ist. Es schliesst lediglich aus, dass bestimmte Umweltparameter sich negativ auf das Fischwohl auswirken.

3. Die Verwendung von einfach zu erhebenden Indikatoren während dem Mastbetrieb. Diese sollen ohne aufwändige Laboranalysen auskommen und schnell und ohne grossen Eingriff in der Routine des Betriebes durch das Personal erhoben werden können (Huntingford et al. 2007). Diese Art der Indikation bietet die Möglichkeit, Probleme bezüglich des Fischwohls schnell zu bemerken und dementsprechend schnell zu reagierend. Dadurch kann das Fischwohl nachhaltig verbessert werden.

Im Folgenden werden die gängigen einfacheren sowie aufwändigeren Indikatoren kurz vorgestellt. Viele dieser Indikatoren sind jedoch noch nicht ausreichend kalibriert.

5.1 Ethologische Indikatoren

Bei ethologischen Indikatoren wird versucht, aufgrund des Verhaltens Rückschlüsse auf das Fischwohl zu ziehen. Dadurch können Umweltfaktoren und Rahmenbedingungen evaluiert werden, die positive oder negative Einflüsse auf das Fischwohl haben, oder direkt Indikatoren bestimmt werden, welche eine akute Beeinträchtigung des Fischwohls aufzeigen. Bei der Interpretation von anormalem Verhalten sei jedoch Vorsicht geboten, da dies nicht zwangsläufig mit verringerter Lebensqualität und Leiden gleichzusetzten sei, sondern auch bei guten Lebensbedingungen vorkommen kann (Dawkins 1998).

5.1.1 Aggression

Aggressives Verhalten wird bei vielen gezüchteten Fischarten festgestellt und kann unter anderem bei zu hohen und zu tiefen Besatzdichten sowie bei Konkurrenz um Futter ausgelöst werden (EFSA 2008a; EFSA 2008b). Einerseits kann Aggression, wie bereits erwähnt, als Faktor betrachtet werden, der das Fischwohl aufgrund resultierender Verletzungen und Stress minimiert (Greaves und Tuene 2001; Ashley 2007). Andererseits kann aggressives Verhalten auch als Indikator verwendet werden, da es Folge anderer Ursachen sein kann und quantifizierbar ist.

Adams et al. (2000) verwendeten Anzahl Bisse und Verfolgungen pro Beobachtungszeit als Aggressionsrate bei Atlantischem Lachs. Hoglund et al. (2002) zählten Attacken, Bisse und Verfolgungen als aggressives Verhalten bei Seesaiblingen. Tilapia wurden isoliert in Aquarien mit Spiegel gehalten und aggressive Handlungen wie Beiss- und Drohverhalten gegenüber ihrem Spiegelbild aufgezeichnet (Merighe et al. 2004). Bei allen Studien mussten die Aggressionshandlungen visuell erhoben werden.

5.1.2 Aktivität

Unter Aktivität wird meistens das Schwimmverhalten verstanden. In neueren Studien wird dies oft durch akustische Telemetrie gemessen. Anras und Lagardere (2004) zeigten, dass diese Technik auch bei hohen Besatzdichten funktioniert. Dabei wurden alle 5 Sekunden die Positionen von Regenbogenforellen mittels akustischer Telemetrie bestimmt und somit eine relative Bewegungsdistanz und Richtung berechnet.

Um das vertikale Schwimmverhalten von Heilbutt zu messen wurden Fische mit PIT (Passive Implantat Transponder) markiert. Dadurch konnten Fische, die an die Oberfläche schwammen, registriert werden (Kristiansen et al. 2004).

Eine Veränderung des Schwimmverhaltens kann ein frühes Anzeichen von gesundheitlichen Problemen wie Parasitenbefall, Infektionen oder akutem Stress sein (Furevik et al. 1993; Huntingford et al. 2007). Um eine Veränderung feststellen zu können, muss aber eine Referenzmessung bestehen. Diese zu erheben kann aufwändig sein.

5.1.3 Konfliktvermeidung

Werden Fische einem Schmerz auslösenden Reiz wie beispielsweise einem Stromschlag ausgesetzt, versuchen sie diesen durch einen Positionswechsel zu vermeiden. Dasselbe gilt bei Anwesenheit eines aggressiven Artgenossen. In Untersuchungen von Dunlop et al. (2006) wurden Regenbogenforellen und Goldfische diesen beiden aversen Faktoren kombiniert ausgesetzt. Dabei wurde festgestellt, dass die Fische ihr Verhalten ändern und versuchen, beide averse Faktoren optimal zu vermeiden. Dies legt nahe, dass die Vermeidung des Schmerz auslösenden Reizes keine reine Reflexhandlung ist, sondern mit kognitiver Fähigkeit verbunden ist. Konfliktvermeidungsverhalten kann deshalb als Indikator für verringertes Fischwohl gedeutet werden (Huntingford et al. 2007), da der Fisch dieses Verhalten nur aufweist, wenn er einem ihm aversen Faktor ausgesetzt ist.

5.1.4 Fressverhalten

Änderungen im Fressverhalten sind bei vielen Fischarten in der Aquakultur zu beobachten und können unter anderem das Resultat von chronischem oder akutem Stress sein (Huntingford et al. 2007). Dient Fressverhalten als Indikator, werden oft Zeitpunkt, Zeitdauer und Menge der aufgenommenen Nahrung bzw. Anzahl Fressaktionen bewertet. Leal et al. (2011) fanden eine Veränderung von Zeitpunkt und Dauer der Fressaktivität, wenn Fische zyklischen Stressoren ausgesetzt wurden. Unterschiede im Appetit wurden bei Goldfischen beobachtet, die mit Futter unterschiedlicher Cortisolgehalte gefüttert wurden (Bernier et al. 2004).

Regenbogenforellen zeigten in Versuchen von Gregory und Wood (1999) sowie Conde-Sieira et al. (2010) einen höheren Appetit, wenn sie nicht gestresst waren. Mittels sensorbasierter Telemetrie konnte eine Methode entwickelt werden, mit welcher Fressverhalten von atlantischen Lachsen dokumentiert werden kann (Fore et al. 2011). Dafür wurden Messungen von Bewegungen mittels Videoaufnahmen kalibriert und erlauben nun eine automatische Unterscheidung von Fressaktivität und anderen Schwimmaktivitäten. Diese Methode könnte auch für andere Fischarten und Szenarien kalibriert werden und eine wichtige Hilfe zur Datenerhebung bieten.

5.1.5 Lautäusserungen

Bei der Suche nach einem neuen Indikator fällt der Fokus auf einen Bereich, der in den letzten Jahren vermehrt Beachtung fand. Unterschiedliche Fischarten weisen ein oftmals speziesspezifisches Spektrum an Lautäusserungen auf (Bass und McKibben 2003; Luczkovich et al. 2008). Es bestehen Hinweise darauf, dass für manche Arten die Fähigkeit zur Lautäusserung und Wahrnehmung für reproduktiven Erfolg und das Überleben essentiell sind (Bass und

McKibben 2003; Rowe und Hutchings 2008). Bislang wurden insgesamt fünf verschiedene Arten der Lautäusserung nachgewiesen (Kaatz 2002). Neben der hydrodynamischen Lautgenerierung durch schnelle Körperbewegungen (Lobel 1992) und Stridulation wurde gezeigt, dass viele Fische auch in der Lage sind, mittels kontrahierender Muskeln und der Schwimmblase als Resonanzkörper nichtlineare akustische Signale zu produzieren (Rice et al. 2011). Weitere Mechanismen sind Körpervibration und stossweise Freisetzung von Luft. Das Lautspektrum des Dreistachligen Krötenfisches (*Batrachomoeus trispinosus*) entspricht beispielsweise der Komplexität nach dem Lautspektrum von Vögeln und Primaten (Rice et al. 2011).

Detaillierte Untersuchungen liegen bei Welsen vor. Vertreter der Dornwelse (*Doradidae*) und falschen Dornwelse (*Auchenipteridae*) weisen ein differenziertes Lautspektrum auf (Kaatz und Stewart 2012). Lautäusserungen wurden registriert bei einer Störung durch eine menschliche Hand (Kaatz und Lobel 2001) und bei Schreck- und Warnreaktionen (Heyd und Pfeiffer 2000). Die Art der Lautäusserung hängt dabei von der Art des Reizes ab. Stridulation konnte vorwiegend bei externen Störungen beobachtet werden, wobei durch die Schwimmblase generierte Lautäusserungen vermehrt bei innerartlichen Kontakten vorkamen (Kaatz 2002).

Andere Forschungsgruppen fokussierten sich auf das Lautspektrum von Cichliden (Danley et al. 2012), speziell auf Nil-Tilapia (*Oreochromis niloticus*) (Longrie et al. 2008; Longrie et al. 2009), welcher von Smith et al. (2004) als Hörgeneralist beschrieben wurde. Akustische Kommunikation wurde bei innerartlichem, aggressiven Territorialverhalten (Longrie et al. 2008) sowie beim Balzverhalten (Simoës et al. 2008) beobachtet.

Piranhas (*Pygocentrus nattereri*) zeigen charakteristische Lautäusserungen, welche mit bestimmten Aggressionsverhalten assoziiert werden können (Milot et al. 2011) (Kastenhuber und Neuhauss 2011). Bei Grauen Knurrhahnen (*Eutrigla gurnardus*) wurden Lautäusserungen im Zusammenhang mit der Konkurrenz um Nahrung beobachtet (Amorim und Hawkins 2005).

Ein Indikator, welcher Lautäusserungen von Fischen berücksichtigt, ist zurzeit nicht bekannt. Das bestehende Potential von Lautäusserung als Indikatorwert wird anschliessend in Kapitel 6.1 diskutiert.

5.2 Physiologische Indikatoren

5.2.1 Stress

Viele physiologische Studien nutzen Stress, um das Fischwohl zu messen, wobei davon ausgegangen wird, dass wenig Stress einem guten Wohlbefinden entspricht (Huntingford et al. 2007). Stressantworten sind die natürlichen Reaktionen von Tieren auf anspruchsvolle Situationen und werden deshalb oft als Indikatoren für verringertes Fischwohl verwendet (Huntingford et al. 2007). Wichtig ist jedoch die Bemerkung, dass physiologischer Stress nicht mit Leiden gleichzusetzen ist, da Stress auch in Situationen vorkommen kann, welche für die Fitness des Tieres wichtig sind (Dawkins 1998). Volpato (2009) kritisiert diese Art der Messung von Fischwohl, da es viele Faktoren gibt, die dagegen sprechen, dass ein hohes Stresshormonlevel (meist Cortisol) generell einem schlechten Wohlbefinden von Tieren gleichzusetzen ist. Hohe Stresshormonlevel sind beispielsweise zu finden in:

1. mittels Stress nach Pavlov konditionierten Fischen. (Moreira und Volpato 2004)
2. Vögeln und Fischen während der Migration (Butler et al. 1998; Shmueli et al. 2000; Tudorache et al. 2008)

3. sich paarenden Fischen (Volpato 2009)

Diese Beispiele geben Anlass dazu, dass von den gemessenen Stresshormonkonzentrationen nicht immer auf das Wohlergehen des Fisches geschlossen werden kann. Ohne Einbezug der gegebenen Umwelteinflüsse und Rahmenbedingungen könnte eine Interpretation solcher Daten zu falschen Schlüssen führen (Volpato 2009). Um das Fischwohl zu messen sollte deshalb der Fokus auch auf tertiäre Effekte von Stress gesetzt werden, welche das Resultat von anhaltendem, wiederholtem, unausweichlichem Stress sind (Barton 2002, Conte 2004). Dabei handelt es sich beispielsweise um Effekte betreffend Wachstumsrate, Immunsuppression und Krankheitsresistenz, welche in diesem Kapitel noch ausführlicher diskutiert werden.

Trotz dieser Kritik dürfen Cortisolmessungen nicht ausser Acht gelassen werden. Wirkt ein Stressor auf den Fisch, führt dies in Knochenfischen zu einer Ausschüttung von Catecholaminen und dies weiter zu einer Ausschüttung des Steroidhormons Cortisol ins Blut (Barton 2002; Pottinger 2008). Dies wird als die primäre Stressreaktion des Fisches bezeichnet. Bei der invasiven Messung dieser beiden Komponenten ergibt sich das Problem, dass die experimentellen Bedingungen und die Probenahme an sich oft potentiell stressvoll sind, und somit zu einer Verfälschung des Resultates führen können (Pottinger 2008). Besonders das Catecholaminlevel im Blut kann sich sehr schnell aufgrund von Stressoren ändern und eignet sich deshalb schlechter als Stressindikator als Cortisol (Pottinger 2008). Doch auch bei Cortisol dürfen zwischen dem Fangen des Fisches aus dem Hälterungstank und der Blutprobenentnahme maximal 5 Minuten verstreichen (Pottinger 2008), ansonsten kann die durch das Fangen des Fisches ausgelöste Cortisolausschüttung den eigentlich zu messenden Wert verfälschen (Pickering et al. 1982). Sind keine schnellen Entnahmen von Blut möglich, können Messungen von Cortisol und deren Metaboliten in der Galle gemacht werden, da die Gallenkonzentration sich langsamer an die Blutkonzentration anpasst. Diese Variante ist jedoch weniger genau, da mit der gängigen Messtechnik (RIA und ELISA³¹) oft auch Derivate von Cortisol mit gemessen werden (Pottinger 2008).

Eine Erhöhung der Konzentration von Glucose und Lactat im Blut sowie eine Veränderung der Aktivität von Enzymen mit metabolischer Funktion zählen zur sekundären Stressreaktion und können mittels standardisierten Verfahren gemessen werden (Trenzado et al. 2003; Acerete et al. 2004).

Ein neuerer Ansatz ist die Messung der Expression von Genen, welche mit Stress in Verbindung gebracht werden. Die Expression gewisser Gene konnte bereits mit aversen Faktoren wie erhöhte Besatzdichte korreliert werden (Beydemir et al. 2011). Ein mit Stress korrelierendes Genprodukt ist das Hitzeschockprotein 70 in Regenbogenforellen (Ceyhun et al. 2010). Mittels der Polymerase-Kettenreaktion (PCR) kann die mRNA solcher Gene kostengünstig detektiert werden und bietet somit eine völlig neue Möglichkeit, um das Fischwohl zu messen (Gornati et al. 2004). Dafür ist jedoch weitere Forschung nötig, um möglichst präzise diejenigen Biomarker zu lokalisieren, welche repräsentativ für das Fischwohl sind.

Eine neuere Methode ist die nichtinvasive Messung von Cortisol. Durch die Kiemen wird Cortisol aufgrund des Konzentrationsgradienten zwischen Blut und Wasser abgegeben (Ellis et al. 2004). Durch die Messung der Cortisolkonzentration im Wasser über die Zeit wird eine Cortisol-Abgabe-Rate berechnet (Fanouraki et al. 2008). Wird Cortisol in einem Becken mit mehreren Fischen gemessen, gehen individuelle Informationen verloren (Pottinger 2008). Zudem ist diese Methode aufwändiger, da Systemparameter wie Beckenvolumen, Zufluss, und Biomasse

³¹ Radioimmunoassay (RIA); Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (ELISA)

se bekannt sein müssen und Fische unterschiedlicher Grösse eine variable Cortisolausschüttung aufweisen können (Fanouraki et al. 2008; Scott et al. 2008). Bei Einzelmessungen an Fischen ist zudem wiederum eine Verfälschung möglich, da die Fische in ein separates Becken transferiert werden müssen (Scott et al. 2008). Die Optimierung der Methode ist Gegenstand der aktuellen Forschung und wurde in mehreren Versuchen eingesetzt (Ellis et al. 2007; Zuberi et al. 2011).

5.2.2 Atemfrequenz

Die Rate der Kiemenbewegungen ist ein einfach zu messender Indikator. Im Labor kann er visuell gemessen werden. Bei Regenbogenforellen und Goldfischen erhöhte sich nach einem *schmerzauslösenden Reiz die Rate um fast das Doppelte* (Sneddon 2003b). Zebrafische zeigten eine ähnliche Änderung der Kiemenschlagfrequenz. Bei Karpfen wurde jedoch keine Änderung festgestellt (Reilly et al. 2008). Deshalb kann dieser Indikator nicht auf beliebige Fische angewandt werden. Bei jeder Fischart ist eine Kalibrierung der Methode mittels Laborversuchen nötig.

Bereits Neville (1985) verwendete die Kiemenschlagfrequenz, um die physiologische Antwort auf negative Umwelteinflüsse zu quantifizieren. In neueren Studien von Damsgård (2006) wurde mittels physiologischer Telemetrie der Wasserdruck in der Mundhöhle einer statistisch ausreichenden Anzahl an Fischen gemessen. Bei Fischen, die mit einer elektronischen Markierung namens „SmartTag“ ausgestattet sind, kann dadurch online die Respirationsrate und das Respirationsvolumen gemessen werden. In vielen Studien konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen Respirationsrate und aversen Faktoren wie Hypoxie und Hyperkapnie (Borch et al. 1993), Anämie (Smith und Jones 1982), durch Metaboliten verunreinigtes Wasser (Handy und Depledge 1999), Schmerz (Sneddon 2003b), Parasiten (Laitinen et al. 1996) sowie Krankheiten (Byrne et al. 1991) festgestellt werden. Da die Respirationsrate neben der Speziesabhängigkeit auch mit der Grösse, der Lebensphase und womöglich der Jahreszeit variiert, stellt die Kalibrierung solcher Messmethoden eine grosse Herausforderung dar (Damsgård 2006).

5.2.3 Farbänderung

Eine Veränderung der Körperfarbe an Fischen wurde in diversen Studien beobachtet. Dabei wurden Farbänderungen der Körperfarbe im Zusammenhang mit Laichbereitschaft (Archer et al. 2012), sozialem Status, UV-Licht und Futterqualität (Leclercq et al. 2010) sowie eine Änderung der Augenfarbe in Abhängigkeit des sozialen Ranges gefunden (Miyai et al. 2011).

Dunkle Körperfärbungen werden bei Atlantischem Lachs und Seesaibling als Ausdruck sozialer Unterordnung vermutet (O'Connor et al. 1999; Hoglund, Balm et al. 2002). Änderungen der Farbe von Fischen könnten somit Hinweise über Veränderungen sozialer Strukturen, der Aggression, aber auch der Lichtverhältnisse bieten und als Teil-Indikator für die Bewertung des Fischwohl dienen.

5.2.4 Gesundheit

Gesundheit ist ein guter Indikator, um das Wohlbefinden zu messen. Auf mögliche Krankheiten sowie Verletzungen von Fischen, welche das Fischwohl beeinträchtigen können, wurde bereits im Kapitel 4.1 eingegangen. Zeigt ein Fisch ein Krankheitssymptom, scheint es vernünftig, daraus zu schliessen, dass er in einem für ihn schlechten Zustand ist (Huntingford et al. 2007). Der Grund für Krankheitsausbrüche ist meistens komplex, doch ein erhöhtes Auftreten von Erkrankungen weist oft darauf hin, dass es Probleme mit den Umweltbedingungen oder dem Management gibt (Huntingford et al. 2007). Ausbrüche von Krankheiten können deshalb ein Zeichen allgemein schlechten Fischwohls sein. Dies ist jedoch nicht zwingend, da Krankheiten auch bei Fischen in optimalen Haltungsbedingungen oder in der Natur auftreten können (Lilley und Roberts 1997). Entgegengesetzt darf aber nicht davon ausgegangen werden, dass bei Nichtauftreten von Krankheiten das Fischwohl gut ist, da mit entsprechenden Medikamenten auch bei schlechten Haltungsbedingungen Krankheitsausbrüche verhindert werden können.

5.3 Morphologische Indikatoren

5.3.1 Morphologisch Abnormitäten

Wird die natürliche Entwicklung durch aversive Faktoren gestört, kann es zu morphologischen Abnormitäten kommen (Huntingford et al. 2007). Diese können meist als Indikator für aversive Umwelt- und Fütterungsbedingungen bei der Larvalentwicklung gesehen werden (Boglione et al. 2001; Cahu et al. 2003; Zouiten et al. 2011).

5.3.2 Wachstumsrate

Wachstumsraten können sowohl über aktives Wägen wie auch über visuelle Grössenmessung (mit Unterwasserkamera) bestimmt werden (Huntingford et al. 2007). Sie sind natürlicherweise variabel, doch einmal für die gegebenen Umweltbedingungen (Futterzugabe, Temperatur etc.) bestimmt, können verringerte Wachstumsraten als Indikator für chronischen Stress dienen (Huntingford et al. 2007). Negative Wachstumsraten werden oft in Kombination mit hoher Aktivität gemessen und weisen auf schlechte Haltungsbedingungen und ein verringertes Fischwohl hin (Ashley 2007).

5.3.3 Flossenverletzungen

Verletzungen sind oftmals eine direkte Ursache von aggressiven Interaktionen zwischen Artgenossen (Huntingford et al. 2007). Um Flossenverletzungen als quantitativen Indikator für das Fischwohl zu verwenden, wurde von Kindschi (1987) ein Flossenindex für Regenbogenforellen entwickelt und von Person-Le Ruyet, Le Bayon et al. (2007) und Ellis et al. (2009) weiterentwickelt. Dabei werden Form und Länge der dorsalen und pectoralen Flossen mit einer Referenz verglichen und in fünf Qualitätsklassen eingeteilt, wodurch diese Ergebnisse vergleichbar mit anderen Studien werden. Turnbull et al. (2005) kombinieren in ihrer Studie den

Zustand der Flossen mit anderen Indikatoren (Cortisol und Glucose im Plasma) und setzen sie in Korrelation zur Besatzdichte.

6. Diskussion

Diese Literaturübersicht verschafft einen Einblick in die aktuelle Forschung. Einflüsse, welche die Lebensqualität von Fischen beeinträchtigen, und aktuelle Forschungsansätze zu deren Beurteilung wurden vorgestellt.

Daraus ergeben sich einige grundsätzliche Punkte zu weiterführenden oder neuen Forschungsarbeiten. Es hat sich gezeigt, dass viele der beschriebenen, potentiell aversen Faktoren grösstenteils durch den Mensch beeinflusst werden können. Durch eine entsprechende Modifizierung dieser Faktoren kann eine Verbesserung des Fischwohls erreicht werden. Dies setzt jedoch voraus, dass die Indikatoren zur Bewertung der Wirkung dieser aversen Faktoren das Fischwohl auch gut wiedergeben. Für weitere Forschungsarbeiten ergeben sich deshalb zwei Schwerpunkte:

1. Bewertung der bestehenden Indikatoren hinsichtlich ihrer Eignung, eine verbesserte Validierung dieser Indikatoren sowie die Entwicklung neuer Indikatoren.
2. Untersuchung potentiell averser Faktoren und Entwicklung von Möglichkeiten, diese zu vermindern.

6.1 Indikatoren

Die Wahl der Indikatoren ist essentiell für eine aussagekräftige Bewertung des Fischwohls. Ein Indikator sollte mit minimalem Aufwand das Fischwohl zum Zeitpunkt der Messung möglichst gut wiedergeben und somit auch direkt in Mastbetrieben zur Anwendung kommen können. Weiter sollte der Indikator quantitativ messbar sein und somit Vergleiche zwischen verschiedenen Studien und Mastbetrieben ermöglichen. Kombinationen zwischen Indikatoren sind möglich und erwünscht. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Vor- und Nachteile der zurzeit verwendeten Indikatoren.

Tabelle 2: Indikatorbewertung

Indikator	Vorteile	Nachteile	Bewertung
Aggressive Interaktionen	Dient als Kurzzeitindikator. Klar definierbar. Bildet Stress ab.	Messaufwand visuell erheblich. Zurzeit keine Automatisierung bekannt	Zurzeit nur als Labormethode einsetzbar. Automatisierung würde Einsatz in Mastbetrieb ermöglichen.
Aktivität	Durch akustische Telemetrie messbar. Auch bei hohen Besatzdichten möglich.	Referenzmessungen nötig. Deshalb sehr aufwändig und für jedes Szenario neu zu bestimmen.	Labor- und feldtauglich, auch für Langzeitstudien, da Messung automatisierbar. Wegen hohem Kalibrierungssaufwand zurzeit schwer in Mastbetrieben zur standardisierten Messung einsetzbar.
Konfliktvermeidung	Zur Ermittlung von potentiell aversen Faktoren ver-	Nur im Labor einsetzbar. Eher qualitative Resultate.	Kein Einsatz im Feld möglich.

Indikator	Vorteile	Nachteile	Bewertung
Fressverhalten	wendbar. Gibt Rückschlüsse über physiologischen Zustand der Fische.	Kalibration über visuelle Beobachtung nötig.	Durch sensorbasierte Telemetrie in Labor und Feldversuchen anwendbar. Einsatz zur standardisierten Messung in Mastbetrieben müsste abgeklärt werden.
Choice Test	Gibt Rückschlüsse über bevorzugte Umweltbedingungen.	Kein richtiger Indikator. Tiere wählen nicht immer den Zustand, der für ihre Fitness am besten ist.	Dient vorwiegend zur Evaluierung von guten Umweltbedingungen. Kein Einsatz als Fischwohl-Indikator möglich.
Invasive Cortisolmessung (und anderer an der Stressantwort beteiligten Stoffe)	Einfache, standardisierte Erhebung möglich. Kurzzeitindikation.	Verfälschung des Resultates durch Stress bei der Erhebung. Cortisollevel nicht immer mit Fischwohl korreliert.	Dieser oft verwendete Indikator sollte nur in Kombination mit anderen Indikatoren verwendet werden, da die Verfälschungen durch das Handling erheblich sein können. In Forschung und Praxis mit Vorsicht zu verwenden.
Nicht invasive Cortisolmessung	Kein Eingriff in Fisch nötig. Verringerung der Verfälschung des Resultates.	Erhebung vieler Parameter nötig. Exkretionsrate alters-, grössen- und speziesabhängig. Einzelmessungen ergeben Verfälschungen.	Bei entsprechender Kalibration und Technik könnten Messungen sowohl im Labor wie auch in Becken von Kreislaufanlagen gemacht werden, deren Hydraulik bekannt ist. Verfahren ist jedoch noch nicht ausgereift.
Genexpression	Kann als Kurzzeit- oder Langzeitindikator dienen. Weniger anfällig auf Verfälschung durch Messung.	Bis jetzt noch wenig untersucht und entwickelt.	Hohes Potential sowohl für Labor und Feldversuche, wie auch für standardisierte Messungen in Mastbetrieben.
Atemfrequenz	Messung bei grossen Fischen automatisch möglich. Gut mit Fischwohl korrelierbar.	Grössen-, Jahreszeit- und Speziesabhängig. Kalibration sehr aufwändig. Bei kleinen Fischen visuelle Erhebung nötig.	Bei grossen Fischen im Labor und Freiland einsetzbar. Hoher Kalibrierungsaufwand ist grösste Herausforderung. Visuelle Erhebung eher für Laborversuche geeignet; zeitintensiv
Farbänderung	Nichtinvasiv zu erheben.	Schwer kalibrierbar. Qualitativer Indikator. Eine quantitative Erhe-	Als Teilindikator im Labor einsetzbar zur Optimierung von Umweltbedingungen. Zurzeit nicht zur quantitativen Indikation

Indikator	Vorteile	Nachteile	Bewertung
Gesundheit	Krankheiten weisen auf schlechtes Fischwohl hin.	Keine Krankheiten bedeuten nicht zwingend gutes Fischwohl.	von Fischwohl einsetzbar, da Methode noch nicht entwickelt ist. Nur in Kombination mit anderen Indikatoren einsetzbar.
Morphologische Abnormitäten	Geben Hinweise auf Probleme bei Larvalentwicklung.	Meist kein direkter Bezug zu aktueller Situation möglich.	Können rückwirkend zur Verbesserung der Aufzuchtbedingungen verwendet werden.
Wachstumsrate	Sehr gut zur Langzeitbewertung einer Haltungstechnik.	Kurzzeitig verringertes Fischwohl kann nicht nachgewiesen werden.	Sollte nur in Kombination mit anderen Indikatoren verwendet werden. In Labor- und Feldversuchen wie auch für standardisierte Messungen in Mastbetrieben einsetzbar.
Flossenindex	Vergleichbar mit anderen Studien. Ergibt Aussage über aggressives Verhalten.	Abhängig von Besatzdichte, Futterqualität und Genetik.	Kann nur in Kombination mit anderen Indikatoren verwendet werden. Durch die klare Definition gut vergleichbar. Einsetzbar in Labor- und Feldversuchen sowie für standardisierte Messungen in Mastbetrieben.
Lautäusserungen	Potentiell in vielen Bereichen als Echtzeitindikator einsetzbar.	Weitgehend unerforscht. Keine Belege, dass dies realisierbar ist.	Dieser Indikator ist erst eine Idee. Einen Einsatz zur Bewertung des Fischwohls gab es bisher nicht. Forschungsarbeit wäre nötig.

Die klassische Messung von Cortisol und dessen Metaboliten, Catecholamin, Glucose und Lactat in Blut und Galle von Fischen weist gewisse Nachteile auf. Zusätzliche Stressbelastungen des Fisches während des Handlings erfordern eine schnelle Probenahme (Pickering et al. 1982; Pottinger 2008) und belasten den Fisch unnötig.

Die neu entwickelte, nicht invasive Variante der Cortisolmessung (Ellis et al. 2004) hat demgegenüber den Vorteil, dass dem Fisch nicht Blut entnommen wird. Wird der Fisch dazu in ein separates Aquarium ohne Wasserzufluss oder Abfluss transferiert, um die Quantifizierung der Cortisol-ausschüttung zu vereinfachen, ergeben sich mehrere Probleme: Durch das Handling des Fisches (Fangen, Umsetzen) wirkt wiederum eine zusätzliche Stressbelastung (Scott, Hirschenhauser et al. 2008). Weiter entspricht die neue Umgebung nicht den Praxisbedingungen, wodurch die Relevanz der Ergebnisse fragwürdig wird. Letztlich ist diese Methode nicht automatisierbar und bedarf eines grossen personellen Aufwandes.

Eine mögliche Anwendung dieser Methode könnte jedoch die *In Situ* Messung von Cortisol in Kreislaufanlagen sein. In hydraulisch klar charakterisierten Becken mit bekannten Wasserflüssen können Proben automatisiert über eine längere Zeitreihe entnommen werden. Dadurch ist eine zeitabhängige Erhebung der Cortisolausschüttung möglich, die auch verzögerte Stressreaktionen auf Ereignisse und Stressoren noch abbilden kann und das Potential hat, in Mastbetrieben als operationeller Indikator eingesetzt zu werden. Bezüglich der Quantifizierung von Cortisol bestehen jedoch nach wie vor Probleme. Zur Messung des im Wasser gelösten Cortisols ist zur Zeit ein sehr gut ausgerüstetes Labor nötig (Ellis et al. 2004), Schnelltests bestehen noch nicht, und deren Entwicklung dürfte eine grosse Herausforderung darstellen. Weiter ist die Cortisolausschüttung stark abhängig von physiologischen Parametern wie Blutzirkulation durch die Kiemen, Fischgrösse/Kiemenoberfläche, Kiemendurchlässigkeit und Kiemenverletzungen sowie Umweltparametern wie Wassertemperatur, Salinität und Konzentrationsgradient (Scott und Ellis 2007). Exkretiertes Cortisol kann wiederum von Fischen aufgenommen werden und somit die Resultate verfälschen. Viele dieser Limitierungen können durch entsprechende Messungen berücksichtigt werden. Dadurch erhöht sich jedoch der Aufwand für eine Kalibrierung erheblich. Unter Umständen kann die Bestimmung der nötigen Systemparameter sehr schwierig bis unmöglich sein. Trotz dieser aktuell bestehenden Limitierungen hat diese Methode das Potential, zukünftig als quantifizierbarer Indikator in Mastbetrieben eingesetzt zu werden.

Das Grundproblem an der Blut-bzw. Wassercortisolmessung ist jedoch, dass das Cortisollevel kein sicheres Indiz für verringertes Fischwohl ist (Ashley 2007; Volpato 2009), da auch in dem Fisch zuträglichen Lebenssituationen erhöhte Cortisollevel gemessen werden (Dawkins 1998; Volpato 2009). Die Autoren sind deshalb der Ansicht, dass Cortisolmessungen als Fischwohl-Indikator nicht ausreichend sind. In Kombination mit anderen Indikatoren kann dieser jedoch wieder an Bedeutung gewinnen.

Forschungen im Bereich der Genexpression von Fischen im Bezug zum Fischwohl in der Aquakultur sind noch wenig fortgeschritten. Als Indikator für Langzeitmessungen könnten sie sich jedoch als nützlich erweisen. Weitere Forschung in diesem Gebiet ist nötig.

Indikatoren wie Flossenverletzungen, morphologische Abnormitäten sowie Wachstumsrate sind quantitative Indikatoren, welche gute Rückschlüsse auf verringertes Fischwohl zulassen. Diese Indikatoren geben einen Gesamtüberblick über die Zeit vor der Messung. Dies hat den Vorteil, dass auch negative Events in der Vergangenheit im Indikator berücksichtigt werden und somit aufgezeigt wird, dass mindestens zu einem gewissen Zeitpunkt das Fischwohl verringert war. Der Nachteil daran ist, dass ohne gleichzeitige Referenzmessung oft nicht klar ersichtlich ist, ob die aktuellen Umweltbedingungen das Fischwohl negativ beeinflussen. Dadurch dienen diese Indikatoren vorwiegend langfristigen Bewertungen von Haltungspraktiken und Umweltbedingungen oder für Studien, in welcher eine Referenzmessung möglich ist. Kurzfristige Schwankungen des Fischwohls können dadurch nicht abgebildet werden.

Farbänderungen stellen demgegenüber eine Möglichkeit dar, kurzzeitige Änderungen im Fischwohl festzustellen. Das Monitoring beruht hier aber auf visuellen Beobachtungen, und zurzeit sind keine quantifizierbaren Methoden bekannt, um diese automatisiert zwecks Vergleichsstudien zu messen. Deshalb bleibt die Anwendung dieses Indikators vorläufig in der qualitativen Bewertung des Fischwohls in Mastbetrieben und kann vor allem durch erfahrene Fischwirte zur Erkennung von Veränderungen im Fischwohl herangezogen werden.

Die Messung der Atemfrequenz dient für manche Spezies (Reilly et al. 2008) als guter Echtzeit-Indikator zur Bewertung des Fischwohls. Da eine visuelle Messung sehr aufwändig ist, stellt die von Damsgård (2006) entwickelte Methode mittels physiologischer Telemetrie für grosse Fische eine Alternative zur Ermittlung der Respirationsrate über die Kiemenschlagfrequenz dar. Die Systemkalibrierungen für unterschiedliche Spezies und Lebensphasen sind jedoch die Herausforderung dieser Technik (Damsgård 2006).

Innerhalb der bekannten ethologischen Indikatoren bietet sich vor allem die Messung der Aktivität als Indikator an, welcher in Echtzeit einen Referenzwert für das Fischwohl bietet und technisch erhoben werden kann. Gemäss Anras und Lagardere (2004) ist dies auch bei hohen Besatzdichten möglich.

Aggressionsmessungen sind meistens sehr aufwändig, da sie in den betrachteten Studien ein visuelles Monitoring voraussetzen. Fortschreitende Technik könnte dies vereinfachen. Möglich wäre beispielsweise die auf Teleometrie basierende Technik zur Bestimmung der Fressrate von Fore et al. (2011) auf Aggressionshandlungen zwischen Fischen zu eichen. Ob dies funktionieren würde, müsste jedoch noch untersucht werden.

Die Lernfähigkeit von Tieren ist eine wichtige Befähigung für die Anpassung und das Überleben in unterschiedlichen Habitaten (Kristiansen 2006). Untersuchungen zur Lernfähigkeit sind sehr divers und beinhalten meist klassische Konditionierung (Nilsson 2006). Zwar können Untersuchungen zur Lernfähigkeit nicht direkt als Indikatoren benutzt werden, um das Fischwohl zu messen, doch sie geben dem Fischwirt die Möglichkeit, das Verhalten der Fische so zu beeinflussen, dass zum Beispiel Fütterung und Handling (Impfung, Sortierung, Transport etc.) weniger stressvoll für die Fische sein können (Kristiansen 2006). Dasselbe gilt auch für andere Pseudo-Indikatoren wie Choice-Test und Konfliktvermeidungsstrategien. Diese können dazu verwendet werden, Umweltbedingungen zu finden, welche das Fischwohl erhöhen. Im Hinblick auf einige Richtlinieninhalte von Bio-Zertifizierern zur Gestaltung der Haltungsumwelt müssen sie weiter untersucht werden, und ihre Eignung als Indikatoren muss validiert werden. Zur direkten Beurteilung des aktuellen Fischwohls in Mastbetrieben haben sie keinen Nutzen, jedoch ist anzunehmen, dass durch Beobachtung der bevorzugten Aufenthaltsbereiche der Fische in der künstlichen Umgebung eines strukturell aufgewerteten Fliesskanals, Präferenzen für den einen oder anderen Millieufaktor festgestellt werden können (z. B. Bereiche mit schneller Strömung für reophile Arten, oder Bereiche mit Strömungsschatten als Rückzugsbereiche für ruhebedürftige Tiere). Eine mögliche Ausführung eines solchen Auswahltests wird von Damsgård (2006) beschrieben. Dabei wurde ein Kammersystem aufgebaut, in welchem ein Gradient eines Umweltfaktors (hier Temperatur) simuliert werden kann. Der Fisch kann sich darin frei bewegen. Durch die Wahl des Aufenthaltsortes wird dann auf die vom Fisch bevorzugte Umweltbedingung geschlossen. Bei der Interpretation solcher Resultate ist jedoch Vorsicht geboten. Dawkins (1998) bemerkt, dass Tiere bei Auswahltests in unnatürlichen Umgebungen nicht immer den Zustand wählen, der für ihre Fitness am besten ist. Eine Auswahl an Optionen, an welche das Versuchstier nicht angepasst ist, kann zu unzweckmässigen Entscheidungen führen. Eine Validierung solcher Beobachtungen mit gesicherten Fischwohl-Indikatoren (klassisch biochemische oder ethologische) lässt es dann zu, den Nutzen solcher Choice-Tests positiv oder negativ einzuschätzen.

Ein weiterer problematischer Faktor bzw. Indikator ist die Mortalität. Intuitiv geht man davon aus, dass bei hoher Mortalität das Fischwohl schlecht ist. Wie hoch eine Mortalitätsrate in einem Mastbetrieb sein darf, ist jedoch schwer zu definieren und entspricht oft einem Erfah-

rungswert. Aus betriebswirtschaftlichen Interessen sollte die Mortalitätsrate möglichst tief sein. Die viel höheren Mortalitätsraten in der Natur sind vorwiegend auf Prädation und nicht optimale Umweltbedingungen wie Futterangebot etc. zurückzuführen. In der Mast entfallen diese Faktoren und es bleiben vorwiegend Krankheiten und haltungsbedingte Faktoren als Grund für erhöhte Mortalität übrig.

Die im Kapitel 5.1.5 beschriebenen Beispiele dokumentieren das wachsende Interesse an den bislang kaum erforschten Lautäusserungen von Fischen. Eine mögliche Technik zur Messung von akustischen Signalen bei Fischen wurde bereits durch Akamatsu et al. (2002) beschrieben und mittels eines standardisierten Messprotokolls für unterschiedliche Behältergrössen optimiert und getestet.

Die vorgestellten Forschungsergebnisse zeigen, dass es möglich sein könnte, eine Korrelation zwischen visuell aufwändig zu erhebenden Aggressions- bzw. Konkurrenzverhalten und akustischen Signalen zu finden. Darauf aufbauend könnte ein artspezifischer Fischwohl-Indikator entwickelt werden, welcher mittels einfacher Messtechnik direkt in Mastbetrieben erhoben werden könnte. Es ist zu erwarten, dass dieser Indikator vorwiegend bei sogenannten Hörspezialisten eingesetzt werden könnte. Die Forschungsergebnisse zu Tilapien (Longrie et al. 2008) lassen jedoch darauf schliessen, dass dieser Indikator auch bei bislang als Hörgeneralisten bekannten Spezies eingesetzt werden könnte.

6.2 Minimierung averser Faktoren – Optimierung der Umweltbedingungen

Die vorliegende Literaturübersicht zeigt eine Vielzahl von aversen Faktoren, welche im Einflussbereich des Fischwirtes liegen. Neben der Auswahl der genetischen Komponenten haben vor allem die Umweltbedingungen und die Tätigkeiten des Managements einen grossen Einfluss auf das Fischwohl.

Tabelle 3 fasst die wichtigsten aversen Faktoren zusammen und gibt einen Einblick, welchen Einfluss diese in Bezug auf Fliesskanäle und Kreislaufanlagen haben könnten. Da Kreislaufanlagen und Fliesskanäle in unterschiedlichster Ausführung bestehen, können diese Aussagen nicht auf alle bestehenden Anlagen angewendet werden. In der Schweizer Tierschutzverordnung beschränken sich die Mindestanforderungen für das Halten und den Transport von Speisefischen auf Besatzdichte, Sauerstoffsättigung, gelösten Sauerstoff, Ammoniak, Nitrat, Kochsalz, CO₂, pH, Temperatur und maximalen Futterentzug in Tagesgraden.

Bewegt sich der Fischzüchter zwecks Gewinnoptimierung am Maximum dieser Rahmenbedingungen, werden die Haltungsbedingungen massgeblich durch die gegebene Infrastruktur bestimmt. Bei Fliesskanälen mit wenig technischer Ergänzung (z.B. Belüfter) ergeben sich bei Einhaltung der Wassergrenzwerte oft Besatzdichten unterhalb des gesetzlichen Maximalwertes. Die Wasserqualität und somit die Besatzdichte sind dann meist von der verfügbaren Frischwassermenge abhängig. Viele negative Faktoren wie Stress, Aggression, Verletzungen und Immunsuppression sind oft direkte oder indirekte Wirkungen von erhöhten Besatzdichten, weshalb sie in Fliesswasserkanälen weniger stark ausgeprägt sein können als in Kreislaufanlagen. Je grösser der Technikeinsatz und folglich die mögliche Besatzdichte wird, desto eher ist eine Ausprägung dieser negativen Faktoren zu erwarten. Kreislaufanlagen ermöglichen

durch eine optimale technische Anpassung die höchsten Besatzdichten. Durch die Wiederaufbereitung und technische Kontrolle der Wasserparameter steigt auch die Anfälligkeit auf Störungen. Anreicherungen von Schadstoffen (z.B. Schwermetalle oder Nitrit), welche in Fliesskanälen aufgrund der hohen Frischwasserzufuhr nicht als Probleme auftreten und nicht gesetzlich limitiert sind, können Schäden verursachen. Bei unvollständiger Nitrifikation ist analog zu Kläranlagen ein Anstieg der Nitritkonzentration im Wasser möglich. Dasselbe kann bei unvollständiger Denitrifikation für Nitrat der Fall sein. Die Einbringung von zusätzlichen Strukturen zur Aufwertung des Lebensraumes ist in Kreislaufanlagen aufgrund der Arbeitseffizienz ebenfalls nicht üblich. Zusätzlich bestehen oft erhöhte Lärmbelastungen durch die eingesetzte Technik. Ein wichtiger Punkt im Hinblick auf das Tierwohl in Kreislaufanlagen ist die Besatzdichte. Sie muss in Kreislaufanlagen zwangsläufig hoch sein, um ein positives Betriebsergebnis zu erreichen, und liegt daher generell über den Werten, die private als auch nationale oder internationale Bio-Richtlinien als Grenzwerte zulassen. Es sind dringend Untersuchungen bezüglich des Tierwohls in Kreislaufanlagen notwendig, um Vergleiche mit anderen Haltungsförmungen anstellen zu können. Vergleiche von Kreislaufanlagen und Fliesswasserkanälen für dieselbe Fischart bestehen in der Schweiz jedoch nicht, da darin prinzipiell unterschiedliche Fischarten gezüchtet werden und nur wenige Kreislaufanlagen in der Schweiz bestehen. Derzeit mögliche Vergleiche wären deshalb rein qualitativer Form und müssen im Rahmen internationaler Forschungsprojekte europaweit angestellt werden (z. B. durch Nutzung des 7. Europäischen Forschungsrahmenprogrammes FP7, das im Jahr 2013 dazu die Möglichkeit geben wird).

Bezüglich der gesetzlichen Rahmenbedingungen besteht eine Abweichung zum aktuellen Stand der Forschung. Für Salmoniden sind Besatzdichten bis zu 100 kg Biomasse pro m³ erlaubt³², was die Empfehlungen von Boujard et al. (2002) bei weitem überschreitet. Grenzwerte für Nitrat überschreiten die Empfehlungen von Wedemeyer (1996). Für Nitrit sind in der Tierschutzverordnung keine Grenzwerte angegeben, obwohl die NOEC gemäss Wedemeyer (1996) 0.03 mg NO₂-N /l beträgt. Weiter gibt es keine Regelung zur Konzentration an suspendierten Stoffen im Aufzuchtbecken, sondern nur über die zulässige Konzentration im Einlauf des Vorfluters.

In vielen konventionellen Mastbetrieben in der Schweiz sind die Becken oder Fliesskanäle nur marginal oder gar nicht mit Strukturen ausgestattet. Inwieweit durch strukturelle Aufwertung das Fischwohl verbessert werden kann, sollte deshalb auch mittels vergleichenden Studien unter praxisnahen Bedingungen untersucht werden. Dafür sollten strukturell aufgewertete Fliesskanäle mit strukturarmen verglichen werden.

Die vorliegende Literaturstudie gibt des weiteren Hinweise darauf, dass hohe Lärmbelastungen auf gewisse Spezies negative Auswirkungen haben können. Vorwiegend der Einfluss von Lärm auf sogenannte Hörspezialisten und Jungstadien von Forellen bedarf weiterer Forschung (Davidson et al. 2009).

Die Vorschriften von Bio-Suisse sind in vielen Bereichen verschärft und nehmen auch Bezug auf Kriterien, welche in der Schweizer Tierschutzverordnung nicht geregelt sind. Trotzdem ist festzuhalten, dass auch diese Richtlinien Bereiche wie minimale Besatzdichte, suspendierte

³² Tierschutzverordnung Art. 98 Abs. 2 Anhang 2 Tabelle 7

Stoffe, Lärm, und Fütterungstechnik nicht regeln. Eine Erweiterung auf diese Bereiche und eine Anpassung gewisser Gewässerparameter wäre empfehlenswert.

Tabelle 3: Faktoren und deren Wirkung und Relevanz in Fliesskanälen und Kreislaufanlagen.³³

Faktor	Negative Faktorwirkung		Gesetzliche Regelung
	Fliesskanal	Kreislaufanlage	
Erregerbedingte Krankheiten (werden im Interesse des Fischzüchters verhindert)	Ubiquitäre Krankheitserreger können Krankheiten bei Schwächung des Immunsystems auslösen. Pathogene gelangen meist über Wasserzufuhr ins System.		Ja
Impfungen	Bessere Kontrolle des Frischwassers durch entsprechende Technik möglich. Bei Krankheitsausbruch und höherer Besatzdichte jedoch fataler.		Ja
Mortalität	Stress und Schmerz bei Injektion und vernarbtes Gewebe sowie verringertes Wachstum möglich. Finanzieller Verlust		-
Ernährung	Durch mangelhafte Ernährung können Stress und eine Schwächung des Immunsystems auftreten. Ausbruch von Krankheiten und erhöhte Mortalität sind möglich.		Futterentzug geregelt. Futterinhaltsstoffe geregelt.
Deformationen und Missbildungen von Skelett und Organen	Verringerung der Stresstoleranz bei Herzdeformationen. Beeinträchtigung des Schwimm- und Fressverhaltens durch Deformationen an Mundbereich, Wirbelsäule und Flossen. Infektionsgefahr bei Flossenverletzung.		Bauliche Rahmenbedingungen nicht geregelt.
Genetik	Bei Erdbauweise des Fliesskanals weniger Verletzungsgefahr. Bei Betonbauweise ist Rauheit der Oberfläche zu prüfen.	Auswahl des Beckenwandmaterials und der Sortiermethode kann die Gesundheit (Verletzungen der Haut) massiv beeinflussen.	Teilweise geregelt.
Besatzdichte	Durch Sex Reversal in Kombination mit Triploidie können negative Nebenwirkungen wie Deformationen und verringerte Wachstums- und Überlebensraten auftreten. Bei gentechnisch veränderten Fischen können erhöhte Anfälligkeit auf Krankheiten und Stress sowie Missbildungen auftreten.		Für gewisse, aber nicht alle

³³ Quellenangaben wurden zugunsten der Übersichtlichkeit weggelassen. Für Quellenangaben zu negativen Faktoren siehe Kapitel 4, bezüglich der gesetzlichen Regelung Kapitel 2.

(Minimal und Maximal)	verringertes Wachstum und erhöhte Aggression		Fischarten geregelt. Entsprechen jedoch nicht immer aktuellem Forschungsstand.
Wasserqualität und Wasserfluss	Besatzdichte in Fliesskanälen meist durch Frischwassermenge limitiert.	Durch technische Hilfsmittel können Wasserparameter auch bei sehr hoher Besatzdichte noch im gesetzlichen Rahmen gehalten werden.	Für gewisse Fischarten geregelt. Entsprechen teilweise nicht aktuellem Forschungsstand. Für viele Fischarten keine Regelung.
	Bei schlechter Wasserqualität sind chronische und akute Schäden möglich. Diese betreffen das Zentralnervensystem, Organe, Missbildungen, Wachstumsreduktion und Mortalität. Hängt sowohl von Besatzdichte, technischer Ausstattung der Anlage wie auch von der Frischwasserzufuhr ab. Meist hohe Frischwasserzufuhr nötig.	Kann durch Wasseraufbereitungstechnik sehr gut kontrolliert werden, ist aber störungsanfälliger. Anreicherung und Belastung durch gesetzlich nicht regulierte Stoffe möglich. Meist geringe Frischwasserzufuhr ausreichend.	
Lärm	Für Hörspezialisten: verringertes Wachstum, Gehörschädigung und Stressreaktionen möglich.		Nein
	Lärmemissionen meist geringer. Lärmemissionen durch Pumpen und Belüftung.	Erhöhte Lärmemissionen durch Technik bedingt. Ist durch Auswahl der Technik optimierbar.	
Raubtiere	Verletzungen und Stress möglich.		Nein
	Können durch Netze etc. abgehalten werden	Kein Problem	
Grössensortierung	Verletzungen der Schleimhaut, Organe sowie Skelett möglich. Oft stressreiche Prozedur.		Ja
Fütterungstechnik	Stress, Wachstumsdivergenz und Verletzungen durch Futterkonkurrenz möglich. Hängt stark von Fütterungstechnik ab.		Nein
Strukturierung des Lebensraums	Aggressivität, Futterkonkurrenz, Stress und Metabolismus durch Strukturierung beeinflusst		Nein
	unterschiedlich	Meist strukturarm	
Kunstlicht und	Schwächung des Immunsystems möglich, weitere Wirkungen werden untersucht		Nein

Tageslängenmanipulation	meist keine Beleuchtung	Kunstlicht oft eingesetzt. Manchmal auch mit Tageslicht kombiniert	
Transport	Mechanische Verletzungen durch andere Fische, Tankwand sowie Ladevorgang möglich.		Ja, bezüglich Transportdichte und Wasserqualität
Betäubung und Schlachtung	Schädigung von Organen und Stress durch schlechte Wasserqualität möglich.	Stress und Schmerz bei unsachgemässer Handhabung und mangelnden Fachkenntnissen möglich.	Ja

Die gesetzlichen Vorgaben werden insgesamt als nicht dem Stand der heutigen Forschung entsprechend angesehen, da dadurch gesetzlich zulässige Umweltbedingungen geschaffen werden können, welche gemäss den zitierten Studien dem Fischwohl abträglich wären. Die bestehenden gesetzlichen Rahmenbedingungen sollen deshalb mittels Studien und verbesserter Fischwohlindikatoren überprüft und bezüglich weiterer averser Faktoren ergänzt werden.

Ein weiterer Kritikpunkt ist, dass in der Tierschutzverordnung diese Parameter und Rahmenbedingungen nur für Forellenartige und Karpfenartige definiert wurden. Süsswasserbarsche und Buntbarsche, Salzwasserfische sowie Welsartige werden darin unter anderen nicht erwähnt. Im Zeichen einiger in den letzten Jahren aktueller, intensiver Aquakulturprojekte wie beispielsweise Tropenhaus Frutigen, Tropenhaus Wolhusen, Fischzuchten Valperca und Melander sowie geplanter Projekte, wie die Indoor-Salzwasser-Kreislaufanlage der OceanSwiss Alpine Seafood AG ist es wichtig, für die gezüchteten Arten einen gesetzlichen Rahmen zu schaffen und somit Investoren und Betreibern auch eine juristische Absicherung zu gewährleisten. Ob dieser gesetzliche Rahmen in Form einer erweiterten Tierschutzverordnung oder einer nationalen Prüfstelle analog derer für Hühner, Schweine und Rinder in Zollikofen und Tänikon errichtet wird, müsste in Zusammenarbeit mit Praktikern und Vollzugsbehörden entschieden werden. Aufgrund der hohen Artenvielfalt in der Aquakultur und somit hohen Variabilität der Ansprüche an Umweltbedingungen, scheint zurzeit eine individuelle Lösung im Rahmen einer Prüfstelle realistischer.

Neben einer Anpassung der gegebenen gesetzlichen Rahmenbedingungen kann das Fischwohl auch durch einfache Änderungen in der Mast verbessert werden. Zwei interessante Forschungsansätze sollen an dieser Stelle erwähnt sein.

Adams et al. (2000) konnten aufzeigen, dass in Rundbecken mit einigen zusätzlichen, grösseren atlantischen Lachsen die Aggression um einen Faktor 10 vermindert und das Wachstum gegenüber einer Kontrollgruppe von Lachsen gleicher Grösse signifikant erhöht war. Diese Ergebnisse werden als Resultat einer stabileren Hierarchie angesehen und sollten vertieft und auch für andere Fischarten untersucht werden (Ashley 2007).

Studien von Hoglund et al. (2002) und Merighe et al. (2004) haben ergeben, dass sowohl bei Seesaibling wie auch für Tilapia das Aggressionsverhalten durch die Beckenfarbe beeinflusst wird. Diese ist in manchen Betrieben eine einfach zu ändernde Umweltbedingung und bedarf deshalb einer weiteren Untersuchung für andere Fischarten.

7. Schlussfolgerung

Eine Bewertung und Optimierung des Fischwohls ist eine sehr schwierige Aufgabe. Bereits beginnend mit unterschiedlichen Definitionen für Fischwohl, erschwert zusätzlich die hohe Heterogenität der Indikationsmethoden die Bewertung massiv. Viele Indikationsmethoden sind für eine Bewertung des aktuellen Fischwohls in Mastbetrieben nicht geeignet oder zu zeitintensiv und beschränken sich auf eine Anwendung für Studien oder Laborversuche. Zudem bestehen beträchtliche Unterschiede der Betriebsformen, was auch die Anwendbarkeit einzelner Indikatoren limitiert. Kreislaufanlagen bedürfen aufgrund der intensiveren Haltung eines genaueren Monitorings des Fischwohls. Neue potentielle Techniken wie beispielsweise die nichtinvasive Cortisolmessung oder Messungen von Aktivität, Fressverhalten und Atemfrequenz mittels Telemetrie eröffnen völlig neue Möglichkeiten, Fischwohl speziell in Kreislaufanlagen kontinuierlich zu bewerten.

Gesetzliche Rahmenbedingungen geben eine gute Grundlage, um zu verhindern, dass Fische in Umweltbedingungen gehalten werden, welche negative Einflüsse auf das Fischwohl haben. Eine Optimierung dieser Rahmenbedingungen und Ergänzung für andere Fischarten ist deshalb wünschenswert. Sie garantieren jedoch nicht, dass das Fischwohl gut ist. Deshalb soll neben der Optimierung dieser Rahmenbedingungen ein Schwerpunkt auf die Entwicklung und Verbesserung von einfach zu erhebenden und aussagekräftigen Fischwohl-Indikatoren gesetzt werden. Solche Indikatoren sollen direkt in den Betrieben eingesetzt werden können und dem Betreiber sowie Kontrollorganen ermöglichen, Verschlechterungen des Fischwohls schnell zu erkennen und Gegenmassnahmen zu ergreifen.

Bezogen auf praxisnahe Forschung und Entwicklung ergeben sich somit folgende mögliche Vertiefungsrichtungen:

1. Entwicklung und speziesspezifische Kalibration eines einfach zu erhebenden, aussagekräftigen, multivariablen Fischwohlintensors, welcher in Feldversuchen und später in der eigentlichen Mast eingesetzt werden kann.
2. Auf diesem Indikator aufbauend: Vergleichende Studien zwischen verschiedenen Haltungssystemen (z.B. Fliesskanal vs. Rundbecken-Kreislaufanlage), um deren Eignung und Neubewertung für Fischlabels abzuschätzen.
3. Vergleichende Studien zwischen Fliesskanälen, welche sich bezüglich Strukturierung, Hydraulik, Beschattung, Farbe, Besatz oder Akustik unterscheiden.
4. Auswahltests mit denselben Kriterien unter Mastbedingungen, um damit präferenzielle Mikro- und Mesohabitate zu lokalisieren.
5. Erweiterung der gesamten Forschungs- und Recherchearbeit auf Fischarten, für welche zurzeit keine gesetzliche Regelung besteht, die in der Aquakultur aber bereits im In- oder nahen Ausland zur Nahrungsproduktion gehalten werden. Dabei soll der Fokus sowohl auf physiologische wie auch ethologische Mindestanforderungen der Fische gesetzt werden.

8. Literatur

- Acerete, L., J. C. Balasch, E. Espinosa, A. Josa, and L. Tort. 2004. Physiological responses in Eurasian perch (*Perca fluviatilis*, L.) subjected to stress by transport and handling. *Aquaculture* 237:167-178.
- Adams, C., F. Huntingford, J. Turnbull, S. Arnott, and A. Bell. 2000. Size heterogeneity can reduce aggression and promote growth in Atlantic salmon parr. *Aquaculture International* 8:543-549.
- Akamatsu, T., T. Okumura, N. Novarini, and H. Y. Yan. 2002. Empirical refinements applicable to the recording of fish sounds in small tanks. *Journal of the Acoustical Society of America* 112:3073-3082.
- Alanara, A. and E. Brannas. 1996. Dominance in demand-feeding behaviour in Arctic charr and rainbow trout: The effect of stocking density. *Journal of Fish Biology* 48:242-254.
- Alanara, A. and E. Brannas. 1997. Diurnal and nocturnal feeding activity in Arctic char (*Salvelinus alpinus*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 54:2894-2900.
- Alanara, A., M. D. Burns, and N. B. Metcalfe. 2001. Intraspecific resource partitioning in brown trout: the temporal distribution of foraging is determined by social rank. *Journal of Animal Ecology* 70:980-986.
- Alanara, A., S. Winberg, E. Brannas, A. Kiessling, E. Hoglund, and U. Elofsson. 1998. Feeding behaviour, brain serotonergic activity levels, and energy reserves of Arctic char (*Salvelinus alpinus*) within a dominance hierarchy. *Canadian Journal of Zoology-Revue Canadienne De Zoologie* 76:212-220.
- Allen-Ankins, S., R. J. Stoffels, P. A. Pridmore, and M. T. Vogel. 2012. The effects of turbidity, prey density and environmental complexity on the feeding of juvenile Murray cod *Maccullochella peelii*. *Journal of Fish Biology* 80:195-206.
- Amorim, M. C. P. and A. D. Hawkins. 2005. Ontogeny of acoustic and feeding behaviour in the grey gurnard, *Eutrigla gurnardus*. *Ethology* 111:255-269.
- Anras, M. L. B. and J. P. Lagardere. 2004. Measuring cultured fish swimming behaviour: first results on rainbow trout using acoustic telemetry in tanks. *Aquaculture* 240:175-186.
- Archer, S. K., S. A. Heppell, B. X. Semmens, C. V. Pattengill-Semmens, P. G. Bush, C. M. McCoy, and B. C. Johnson. 2012. Patterns of color phase indicate spawn timing at a Nassau grouper *Epinephelus striatus* spawning aggregation. *Current Zoology* 58:73-83.
- Arlinghaus, R., S. J. Cooke, A. Schwab, and I. G. Cowx. 2007. Fish welfare: a challenge to the feelings-based approach, with implications for recreational fishing. *Fish and Fisheries* 8:57-71.
- Ashley, P. J. 2007. Fish welfare: Current issues in aquaculture. *Applied Animal Behaviour Science* 104:199-235.
- Ashley, P. J., S. Ringrose, K. L. Edwards, E. Wallington, C. R. McCrohan, and L. U. Sneddon. 2009. Effect of noxious stimulation upon antipredator responses and dominance status in rainbow trout. *Animal Behaviour* 77:403-410.

- BAFU. 2010. Statistik: Fischzucht. www.bafu.admin.ch. Abgerufen: 03.03.2012.
- Banner, A. and M. Hyatt. 1973. Effects of noise on eggs and larvae of 2 estuarine fishes. *Transactions of the American Fisheries Society* 102:134-136.
- Barcellos, L. J. G., L. C. Kreutz, R. M. Quevedo, J. G. S. da Rosa, G. Koakoski, L. Centenaro, and E. Pottker. 2009. Influence of color background and shelter availability on jundia (*Rhamdia quelen*) stress response. *Aquaculture* 288:51-56.
- Bart, A. N., J. Clark, J. Young, and Y. Zohar. 2001. Underwater ambient noise measurements in aquaculture systems: a survey. *Aquacultural Engineering* 25:99-110.
- Barton, B. A. 2002. Stress in fishes: A diversity of responses with particular reference to changes in circulating corticosteroids. *Integrative and Comparative Biology* 42:517-525.
- Basquill, S. P. and J. W. A. Grant. 1998. An increase in habitat complexity reduces aggression and monopolization of food by zebra fish (*Danio rerio*). *Canadian Journal of Zoology-Revue Canadienne De Zoologie* 76:770-772.
- Bass, A. H. and J. R. McKibben. 2003. Neural mechanisms and behaviors for acoustic communication in teleost fish. *Progress in Neurobiology* 69:1-26.
- Benhaim, D., C. A. Leblanc, and G. Lucas. 2009. Impact of a new artificial shelter on Arctic charr (*Salvelinus alpinus*, L.) behaviour and culture performance during the endogenous feeding period. *Aquaculture* 295:38-43.
- Berejikian, B. A., E. P. Tezak, T. A. Flagg, A. L. LaRae, E. Kummerow, and C. V. W. Mahnken. 2000. Social dominance, growth, and habitat use of age-0 steelhead (*Oncorhynchus mykiss*) grown in enriched and conventional hatchery rearing environments. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 57:628-636.
- Berejikian, B. A., E. P. Tezak, S. C. Riley, and A. L. LaRae. 2001. Competitive ability and social behaviour of juvenile steelhead reared in enriched and conventional hatchery tanks and a stream environment. *Journal of Fish Biology* 59:1600-1613.
- Bernier, N. J., N. Bedard, and R. E. Peter. 2004. Effects of cortisol on food intake, growth, and forebrain neuropeptide Y and corticotropin-releasing factor gene expression in goldfish. *General and Comparative Endocrinology* 135:230-240.
- Beydemir, S., E. Aksakal, Z. Alim, O. Erdogan, and S. B. Ceyhun. 2011. The effects of stocking density on CYP 450 1A gen-expression and carbonic anhydrase enzyme activity in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fresenius Environmental Bulletin* 20:1452-1457.
- Bio Suisse. 2012a. Anforderungen an die Bio-Fischzucht. Basel.
- Bio Suisse. 2012b. Betriebsmittelliste für die Fischzucht. Basel.
- Blazer, V. S., D. L. Fabacher, E. E. Little, M. S. Ewing, and K. M. Kocan. 1997. Effects of ultraviolet-B radiation on fish: Histologic comparison of a UVB-sensitive and a UVB-tolerant species. *Journal of Aquatic Animal Health* 9:132-143.
- Boglione, C., F. Gagliardi, M. Scardi, and S. Cataudella. 2001. Skeletal descriptors and quality assessment in larvae and post-larvae of wild-caught and hatchery-reared gilthead sea bream (*Sparus aurata* L. 1758). *Aquaculture* 192:1-22.
- Borch, K., F. B. Jensen, and B. B. Andersen. 1993. Cardiac Activity, ventilation rate and acid base regulation in rainbow-trout exposed to hypoxia and combined hypoxia and hypercapnia. *Fish Physiology and Biochemistry* 12:101-110.

- Boujard, T., L. Labbe, and B. Auperin. 2002. Feeding behaviour, energy expenditure and growth of rainbow trout in relation to stocking density and food accessibility. *Aquaculture Research* 33:1233-1242.
- Braithwaite, V. 2010. Do fish feel pain? Oxford University Press, Oxford, UK.
- Brambell. 1965. Report of the Technical Committee to enquire into the welfare of animals kept under intensive livestock husbandry systems. Her Majesty's Stationery Office, London, UK.
- Brannas, E. 2009. The effect of moderate exercise on growth and aggression depending on social rank in groups of Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.). *Applied Animal Behaviour Science* 119:115-119.
- Branson. 2008. Fish welfare. Blackwell Publishing Ltd, Oxford OX4 2DQ.
- Britz, P. J. and A. G. Pienaar. 1992. Laboratory experiments on the effect of light and cover on the behavior and growth of african catfish, *Clarias-gariepinus* (Pisces, Clariidae). *Journal of Zoology* 227:43-62.
- Burgos, A., A. Valenzuela, M. Gonzalez, and A. Klempau. 2004. Non-specific defence mechanisms of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) during artificial photoperiod. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists* 24:240-245.
- Büsser, E. 2005. Speisefischproduktion in der Schweiz: Erhebung 2003/04. Mitteilungen zur Fischerei. Nr. 81. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Bern:22
- Butler, P. J., A. J. Woakes, and C. M. Bishop. 1998. Behaviour and physiology of Svalbard Barnacle Geese *Branta leucopsis* during their autumn migration. *Journal of Avian Biology* 29:536-545.
- BVET. 2005. Fische, die bekannten Fremden. BVET-Magazin. Bundesamt für Veterinärwesen (BVET), Bern.
- BVET. 2011. Aquakulturbetriebe in der Schweiz, die Fische halten. www.bvet.admin.ch. Abgerufen: 12.03.2012
- Byrne, P., H. W. Ferguson, J. S. Lumsden, and V. E. Ostland. 1991. Blood-chemistry of bacterial gill disease in brook trout *Salvelinus fontinalis*. *Diseases of Aquatic Organisms* 10:1-6.
- Cahu, C., J. Z. Infante, and T. Takeuchi. 2003. Nutritional components affecting skeletal development in fish larvae. *Aquaculture* 227:245-258.
- Carfagnini, A. G., F. H. Rodd, K. B. Jeffers, and A. E. E. Bruce. 2009. The effects of habitat complexity on aggression and fecundity in zebrafish (*Danio rerio*). *Environmental Biology of Fishes* 86:403-409.
- Ceyhun, S. B., M. Senturk, D. Ekinci, O. Erdogan, A. Ciltas, and E. M. Kocaman. 2010. Deltamethrin attenuates antioxidant defense system and induces the expression of heat shock protein 70 in rainbow trout. *Comparative Biochemistry and Physiology C-Toxicology & Pharmacology* 152:215-223.
- Chandross, K. P., S. J. Cooke, R. S. McKinley, and R. D. Moccia. 2005. Use of electromyogram telemetry to assess the behavioural and energetic responses of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) to transportation stress. *Aquaculture Research* 36:1226-1238.

- Chandroo, K. P., I. J. H. Duncan, and R. D. Moccia. 2004. Can fish suffer?: perspectives on sentience, pain, fear and stress. *Applied Animal Behaviour Science* 86:225-250.
- Christiansen, J. S., Y. S. Svendsen, and M. Jobling. 1992. The combined effect of stocking density and sustained exercise on the behavior, food-intake, and growth of juvenile arctic charr (*Salvelinus-alpinus* L). *Canadian Journal of Zoology-Revue Canadienne De Zoologie* 70:115-122.
- CIWF. 2009. *Farmed Fish Briefing*. Surrey, United Kingdom.
- Conde-Sieira, M., A. J. Aguilar, M. A. Lopez-Patino, J. M. Miguez, and J. L. Soengas. 2010. Stress alters food intake and glucosensing response in hypothalamus, hindbrain, liver, and Brockmann bodies of rainbow trout. *Physiology & Behavior* 101:483-493.
- Conte, F. S. 2004. Stress and the welfare of cultured fish. *Applied Animal Behaviour Science* 86:205-223.
- Cooke, S. J., C. D. Suski, K. G. Ostrand, B. L. Tufts, and D. H. Wahl. 2004. Behavioral and physiological assessment of low concentrations of clove oil anaesthetic for handling and transporting largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Aquaculture* 239:509-529.
- Cowan, M., A. Davie, and H. Migaud. 2011. The effect of metal halide and novel green cathode lights on the stress response, innate immunity, eye structure and feeding activity of Atlantic cod, *Gadus morhua* L. *Aquaculture Research* 42:115-124.
- Damsgård. 2006. Non-invasive methods for assessment of fish welfare. *Fiskeriforskning* (Norwegian Institute of Fisheries and Aquaculture Research), Tromsø, Norway.
- Danley, P. D., M. Husemann, and J. Chetta. 2012. Acoustic diversity in Lake Malawi's rock-dwelling cichlids. *Environmental Biology of Fishes* 93:23-30.
- Davidson, J., J. Bebak, and P. Mazik. 2009. The effects of aquaculture production noise on the growth, condition factor, feed conversion, and survival of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture* 288:337-343.
- Dawkins, M. S. 1998. Evolution and animal welfare. *Quarterly Review of Biology* 73:305-328.
- Devlin, R. H., T. Y. Yesaki, E. M. Donaldson, S. J. Du, and C. L. Hew. 1995. Production of germline transgenic pacific salmonids with dramatically increased growth-performance. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 52:1376-1384.
- Dunham, R. A. and R. H. Devlin. 1999. Comparison of traditional breeding and transgenesis in farmed fish with implications for growth enhancement and fitness.
- Dunlop, R. and P. Laming. 2005. Mechanoreceptive and nociceptive responses in the central nervous system of goldfish (*Carassius auratus*) and trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Pain* 6:561-568.
- Dunlop, R., S. Millsopp, and P. Laming. 2006. Avoidance learning in goldfish (*Carassius auratus*) and trout (*Oncorhynchus mykiss*) and implications for Pain perception. *Applied Animal Behaviour Science* 97:255-271.
- EFSA. 2004. Opinion of the Scientific Panel for Animal Health and Welfare on a request from the Commission related to the welfare of animals during transport. *The EFSA Journal* 44:1-36.
- EFSA. 2008a. Scientific Report of EFSA prepared by Working Group on Trout welfare on Animal Welfare Aspects of Husbandry Systems for Farmed Trout. . Annex I to The EFSA Journal 796:1-97.

- EFSA. 2008b. Scientific Report of EFSA prepared by Working Group on seabass/seabream welfare on Animal Welfare Aspects of Husbandry Systems for Farmed European seabass and gilthead seabream. . Annex I to The EFSA Journal 844:1-89.
- EFSA. 2008c. Scientific Report of the Panel on Animal Health and Welfare on a request from the European Commission on animal welfare aspects of husbandry systems for farmed Atlantic salmon. The EFSA Journal 736:1-122.
- Ellis, T., I. Hoyle, B. Oidtmann, J. F. Turnbull, T. E. Jacklin, and T. G. Knowles. 2009. Further development of the "Fin Index" method for quantifying fin erosion in rainbow trout. *Aquaculture* 289:283-288.
- Ellis, T., J. D. James, C. Stewart, and A. P. Scott. 2004. A non-invasive stress assay based upon measurement of free cortisol released into the water by rainbow trout. *Journal of Fish Biology* 65:1233-1252.
- Ellis, T., J. D. James, H. Sundh, F. Fridell, K. Sundell, and A. P. Scott. 2007. Non-invasive measurement of cortisol and melatonin in tanks stocked with seawater Atlantic salmon. *Aquaculture* 272:698-706.
- Ellis, T., B. North, A. P. Scott, N. R. Bromage, M. Porter, and D. Gadd. 2002. The relationships between stocking density and welfare in farmed rainbow trout. *Journal of Fish Biology* 61:493-531.
- Ersdal, C., P. J. Midtlyng, and J. Jarpe. 2001. An epidemiological study of cataracts in seawater farmed Atlantic salmon *Salmo salar*. *Diseases of Aquatic Organisms* 45:229-236.
- Evans, D. H., P. M. Piermarini, and K. P. Choe. 2005. The multifunctional fish gill: Dominant site of gas exchange, osmoregulation, acid-base regulation, and excretion of nitrogenous waste. *Physiological Reviews* 85:97-177.
- Fanouraki, E., N. Papandroulakis, T. Ellis, C. C. Mylonas, A. P. Scott, and M. Pavlidis. 2008. Water cortisol is a reliable indicator of stress in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Behaviour* 145:1267-1281.
- FAWC. 1996. Report on the welfare of farmed fish. Farmed Animal Welfare Council, Surbiton, Surrey.
- Fent. 2007. *Ökotoxikologie*. 3 Edition. Georg Thieme Verlag, 70496 Stuttgart.
- Fikri, A., T. Recai, Y. Y. Hijran, and K. Oguz. 2000. Nephrocalcinosis in intensively reared rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh* 52:111-117.
- Fore, M., J. A. Alfredsen, and A. Gronningsater. 2011. Development of two telemetry-based systems for monitoring the feeding behaviour of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in aquaculture sea-cages. *Computers and Electronics in Agriculture* 76:240-251.
- FRS. 2007. Fisheries Research Services. Scottish fish farms annual production survey.
- FSBI. 2002. Fish Welfare. Briefing Paper 2, Fisheries Society of the British Isles, High Street, Sawston, Cambridge, UK.
- Furevik, D. M., A. Bjordal, I. Huse, and A. Ferno. 1993. Surface-activity of atlantic salmon (*Salmo-salar* L) in net pens. *Aquaculture* 110:119-128.
- Galhardo, L. and R. F. Oliveira. 2009. Psychological Stress and Welfare in Fish. *ARBS Annual Review of Biomedical Sciences* 11:1-20.

- Gonzalez-Nunez, V. and R. E. Rodriguez. 2009. The Zebrafish: A Model to Study the Endogenous Mechanisms of Pain. *Ilar Journal* 50:373-386.
- Gornati, R., E. Papis, S. Rimoldi, G. Terova, M. Saroglia, and G. Bernardini. 2004. Rearing density influences the expression of stress-related genes in sea bass (*Dicentrarchus labrax*, L.). *Gene* 341:111-118.
- Greaves, K. and S. Tuene. 2001. The form and context of aggressive behaviour in farmed Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.). *Aquaculture* 193:139-147.
- Gregory, T. R. and C. M. Wood. 1999. The effects of chronic plasma cortisol elevation on the feeding behaviour, growth, competitive ability, and swimming performance of juvenile rainbow trout. *Physiological and Biochemical Zoology* 72:286-295.
- Guensch, G. R., T. B. Hardy, and R. C. Addley. 2001. Examining feeding strategies and position choice of drift-feeding salmonids using an individual-based, mechanistic foraging model. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 58:446-457.
- Handy, R. D. and M. H. Depledge. 1999. Physiological responses: Their measurement and use as environmental biomarkers in ecotoxicology. *Ecotoxicology* 8:329-349.
- Hastein, T. 2004. Animal welfare issues relating to aquaculture. Proceedings of the Global conference on animal welfare: an OIE initiative, Paris, France, 23-25 February 2004. pp. 219-231.
- Hauer, C., G. Unfer, W. Graf, P. Leitner, B. Zeiringer, and H. Habersack. 2012. Hydro-morphologically related variance in benthic drift and its importance for numerical habitat modelling. *Hydrobiologia* 683:83-108.
- Haywood, G. P. 1983. Ammonia toxicity in teleost fishes - a review. *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences*:III-35.
- Heggenes, J. 2002. Flexible summer habitat selection by wild, allopatric brown trout in lotic environments. *Transactions of the American Fisheries Society* 131:287-298.
- Heggenes, J., J. L. Bagliniere, and R. A. Cunjak. 1999. Spatial niche variability for young Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*S-trutta*) in heterogeneous streams. *Ecology of Freshwater Fish* 8:1-21.
- Heggenes, J. and S. J. Saltveit. 2007. Summer stream habitat partitioning by sympatric Arctic charr, Atlantic salmon and brown trout in two sub-arctic rivers. *Journal of Fish Biology* 71:1069-1081.
- Heinen, J. M., J. A. Hankins, and A. L. Weber. 1996. A semiclosed recirculating-water system for high-density culture of rainbow trout. *Progressive Fish-Culturist* 58:11-22.
- Hermansen, H. and C. Krog. 1984. Influence of physical factors on density of stocked brown trout (*Salmo-trutta-fario* L) in a danish lowland stream. *Fisheries Management* 15:107-115.
- Heyd, A. and W. Pfeiffer. 2000. Sound production in catfish (Siluroidei, Ostariophysi, Teleostei) and its relationship to phylogeny and fright reaction. *Revue Suisse De Zoologie* 107:165-211.
- Hoglund, E., P. H. M. Balm, and S. Winberg. 2002. Behavioural and neuroendocrine effects of environmental background colour and social interaction in Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). *Journal of Experimental Biology* 205:2535-2543.

- Hossain, M. A. R., M. C. M. Beveridge, and G. S. Haylor. 1998. The effects of density, light and shelter on the growth and survival of African catfish (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822) fingerlings. *Aquaculture* 160:251-258.
- Huntingford, F. A., C. Adams, V. A. Braithwaite, S. Kadri, T. G. Pottinger, P. Sandoe, and J. F. Turnbull. 2007. Current issues in fish welfare (vol 68, pg 332, 2006). *Journal of Fish Biology* 70:1311-1316.
- Huntingford, F. A. and S. Kadri. 2009. Taking account of fish welfare: lessons from aquaculture. *Journal of Fish Biology* 75:2862-2867.
- Jentoft, S., S. Oxnevad, A. H. Aastveit, and O. Andersen. 2006. Effects of tank wall color and up-welling water flow on growth and survival of Eurasian perch larvae (*Perca fluviatilis*). *Journal of the World Aquaculture Society* 37:313-317.
- Jhingan, E., R. H. Devlin, and G. K. Iwama. 2003. Disease resistance, stress response and effects of triploidy in growth hormone transgenic coho salmon. *Journal of Fish Biology* 63:806-823.
- Johnson, R. M., J. M. Shrimpton, J. W. Heath, and D. D. Heath. 2004. Family, induction methodology and interaction effects on the performance of diploid and triploid chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Aquaculture* 234:123-142.
- Jonsson, B. and N. Jonsson. 2011. *Ecology of Atlantic Salmon and Brown Trout : Habitat as a template for life histories*. Springer, Dordrecht.
- Jorgensen, E. H. and M. Jobling. 1993. The effects of exercise on growth, food utilisation and osmoregulatory capacity of juvenile atlantic salmon, *Salmo-salar*. *Aquaculture* 116:233-246.
- Kaatz, I. M. 2002. Multiple sound-producing mechanisms in teleost fishes and hypotheses regarding their behavioural significance. *Bioacoustics* 12:230-233.
- Kaatz, I. M. and P. S. Lobel. 2001. A comparison of sounds recorded from a catfish (*Orinocodoras eigenmanni*, Doradidae) in an aquarium and in the field. *Biological Bulletin* 201:278-280.
- Kaatz, I. M. and D. J. Stewart. 2012. Bioacoustic variation of swimbladder disturbance sounds in Neotropical doradoid catfishes (Siluriformes: Doradidae, Auchenipteridae): Potential morphological correlates. *Current Zoology* 58:171-188.
- Karakatsouli, N., S. E. Papoutsoglou, and G. Manoleosos. 2007. Combined effects of rearing density and tank colour on the growth and welfare of juvenile white sea bream *Diplodus sargus* L. in a recirculating water system. *Aquaculture Research* 38:1152-1160.
- Kastenhuber, E. and S. C. F. Neuhauss. 2011. Acoustic Communication: Sound Advice from Piranhas. *Current Biology* 21:R986-R988.
- Kindschi, G. A. 1987. Method for quantifying degree of fin erosion. *Progressive Fish-Culturist* 49:314-315.
- Kristiansen. 2006. Development of research facilities and methods in fish welfare. *Fiskeriforskning* (Norwegian Institute of Fisheries and Aquaculture Research), Tromsø, Norway.
- Kristiansen, T. S., A. Ferno, J. C. Holm, L. Privitera, S. Bakke, and J. E. Fosseidengen. 2004. Swimming behaviour as an indicator of low growth rate and impaired welfare in Atlantic

- halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) reared at three stocking densities. *Aquaculture* 230:137-151.
- Laitinen, M., R. Siddall, and E. T. Valtonen. 1996. Bioelectronic monitoring of parasite-induced stress in brown trout and roach. *Journal of Fish Biology* 48:228-241.
- Larsen, B. K., P. V. Skov, D. J. McKenzie, and A. Jokumsen. 2012. The effects of stocking density and low level sustained exercise on the energetic efficiency of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) reared at 19 degrees C. *Aquaculture* 324:226-233.
- Leal, E., B. Fernandez-Duran, R. Guillot, D. Rios, and J. M. Cerda-Reverter. 2011. Stress-induced effects on feeding behavior and growth performance of the sea bass (*Dicentrarchus labrax*): a self-feeding approach. *Journal of Comparative Physiology B-Biochemical Systemic and Environmental Physiology* 181:1035-1044.
- Leatherland, J. F. W. P. T. K. 2010. *Fish Diseases and Disorders, Vol 2: Non-Infectious Disorders*, 2nd Edition.
- Leclercq, E., J. F. Taylor, and H. Migaud. 2010. Morphological skin colour changes in teleosts. *Fish and Fisheries* 11:159-193.
- Lilley, J. H. and R. J. Roberts. 1997. Pathogenicity and culture studies comparing the *Aphanomyces* involved in epizootic ulcerative syndrome (EUS) with other similar fungi. *Journal of Fish Diseases* 20:135-144.
- Lines, J. and S. Kestin. 2004. Electrical stunning of fish: the relationship between the electric field strength and water conductivity. *Aquaculture* 241:219-234.
- Lines, J. A., D. H. Robb, S. C. Kestin, S. C. Crook, and T. Benson. 2003. Electric stunning: a humane slaughter method for trout. *Aquacultural Engineering* 28:141-154.
- Lobel, P. S. 1992. Sounds produced by spawning fishes. *Environmental Biology of Fishes* 33:351-358.
- Longrie, N., M. L. Fine, and E. Parmentier. 2008. Innate sound production in the cichlid *Oreochromis niloticus*. *Journal of Zoology* 275:413-417.
- Longrie, N., S. Van Wassenbergh, P. Vandewalle, Q. Mauguit, and E. Parmentier. 2009. Potential mechanism of sound production in *Oreochromis niloticus* (Cichlidae). *Journal of Experimental Biology* 212:3395-3402.
- Luczkovich, J. J., D. A. Mann, and R. A. Rountree. 2008. Passive acoustics as a tool in fisheries science. *Transactions of the American Fisheries Society* 137:533-541.
- Madsen, L., J. Arnbjerg, and I. Dalsgaard. 2000. Spinal deformities in triploid all-female rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists* 20:206-208.
- Makowsky. 2012. Tropenhaus Frutigen. Frutigen. www.tropenhaus-frutigen.ch. Abgerufen: 18.03.2012
- Manek, A. K., M. C. O. Ferrari, J. M. Sereda, S. Niyogi, and D. P. Chivers. 2012. The effects of ultraviolet radiation on a freshwater prey fish: physiological stress response, club cell investment, and alarm cue production. *Biological Journal of the Linnean Society* 105:832-841.
- Marino, G. 2008. Water quality in aquaculture and its influence on stress physiology and welfare of farmed fish. *Comparative Biochemistry and Physiology a-Molecular & Integrative Physiology* 151:S11-S11.

- Merighe, G. K. F., E. M. Pereira-da-Silva, J. A. Negrao, and S. Ribeiro. 2004. Effect of background color on the social stress of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Revista Brasileira De Zootecnia-Brazilian Journal of Animal Science* 33:828-837.
- Merkin, G. V., B. Roth, C. Gjerstad, E. Dahl-Paulsen, and R. Nortvedt. 2010. Effect of pre-slaughter procedures on stress responses and some quality parameters in sea-farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 309:231-235.
- Mettam, J. J., C. R. McCrohan, and L. U. Sneddon. 2012. Characterisation of chemosensory trigeminal receptors in the rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*: responses to chemical irritants and carbon dioxide. *Journal of Experimental Biology* 215:685-693.
- Mignon-Grasteau, S., A. Boissy, J. Bouix, J. M. Faure, A. D. Fisher, G. N. Hinch, P. Jensen, P. Le Neindre, P. Mormede, P. Prunet, M. Vandeputte, and C. Beaumont. 2005. Genetics of adaptation and domestication in livestock. *Livestock Production Science* 93:3-14.
- Millidine, K. J., J. D. Armstrong, and N. B. Metcalfe. 2006. Presence of shelter reduces maintenance metabolism of juvenile salmon. *Functional Ecology* 20:839-845.
- Millot, S., P. Vandewalle, and E. Parmentier. 2011. Sound production in red-bellied piranhas (*Pygocentrus nattereri*, Kner): an acoustical, behavioural and morphofunctional study. *Journal of Experimental Biology* 214:3613-3618.
- Miyai, C. A., F. H. C. Sanches, T. M. Costa, K. D. Colpo, G. L. Volpato, and R. E. Barreto. 2011. The correlation between subordinate fish eye colour and received attacks: a negative social feedback mechanism for the reduction of aggression during the formation of dominance hierarchies. *Zoology* 114:335-339.
- Moreira, P. S. A. and G. L. Volpato. 2004. Conditioning of stress in Nile tilapia. *Journal of Fish Biology* 64:961-969.
- Morzel, M., D. Sohier, and H. Van de Vis. 2003. Evaluation of slaughtering methods for turbot with respect to animal welfare and flesh quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 83:19-28.
- Myrseth. 2005. What we have learned from fish farming and how we can apply this for future developments. Conference: lessons from the past to optimise the future. European Aquaculture Society: Special Publication.
- Neville, C. M. 1985. Physiological-response of juvenile rainbow-trout, *Salmo-gairdneri*, to acid and alluminum - prediction of field responses from laboratory data. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 42:2004-2019.
- Nilsson. 2006. Learning in cod *Fiskeriforskning* (Norwegian Institute of Fisheries and Aquaculture Research), Tromsø, Norway.
- Noble, A. C. and S. T. Summerfelt. 1996. Diseases countered in rainbow trout cultured in recirculating systems. *Annual Review of Fish Diseases* 6:65-92.
- Nordgreen, J., T. E. Horsberg, B. Ranheim, and A. C. N. Chen. 2007. Somatosensory evoked potentials in the telencephalon of Atlantic salmon (*Salmo salar*) following galvanic stimulation of the tail. *Journal of Comparative Physiology a-Neuroethology Sensory Neural and Behavioral Physiology* 193:1235-1242.
- North, B. P., J. F. Turnbull, T. Ellis, M. J. Porter, H. Migaud, J. Bron, and N. R. Bromage. 2006. The impact of stocking density on the welfare of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 255:466-479.

- O'Connor, K. I., N. B. Metcalfe, and A. C. Taylor. 1999. Does darkening signal submission in territorial contests between juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*? *Animal Behaviour* 58:1269-1276.
- Person-Le Ruyet, J., L. Labbe, N. Le Bayon, A. Severe, A. Le Roux, H. Le Delliou, and L. Quemener. 2008. Combined effects of water quality and stocking density on welfare and growth of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquatic Living Resources* 21:185-195.
- Person-Le Ruyet, J., N. Le Bayon, and S. Gros. 2007. How to assess fin damage in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*? *Aquatic Living Resources* 20:191-195.
- Pickering, A. D., T. G. Pottinger, and P. Christie. 1982. Recovery of the brown trout, *Salmo trutta*-L, from acute handling stress - a time course study. *Journal of Fish Biology* 20:229-244.
- Poppe, T. T., A. C. Barnes, and P. J. Midtlyng. 2002. Welfare and ethics in fish farming. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists* 22:148-151.
- Poppe, T. T., R. Johansen, G. Gunnes, and B. Torud. 2003. Heart morphology in wild and farmed Atlantic salmon *Salmo salar* and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Diseases of Aquatic Organisms* 57:103-108.
- Popper, A. N., J. Fewtrell, M. E. Smith, and R. D. McCauley. 2003. Anthropogenic sound: Effects on the behavior and physiology of fishes. *Marine Technology Society Journal* 37:35-40.
- Portavella, M., J. P. Vargas, B. Torres, and C. Salas. 2002. The effects of telencephalic pallial lesions on spatial, temporal, and emotional learning in goldfish. *Brain Research Bulletin* 57:397-399.
- Pottinger, T. G. 2006. Context dependent differences in growth of two rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) lines selected for divergent stress responsiveness. *Aquaculture* 256:140-147.
- Pottinger, T. G. 2008. *The Stress Response in Fish – Mechanisms, Effects and Measurement*. Blackwell Publishing Ltd, Oxford OX4 2DQ.
- Pottinger, T. G. and A. D. Pickering. 1997. Genetic basis to the stress response: selective breeding for stress-tolerant fish.
- Ramsay, J. M., G. W. Feist, C. B. Schreck, R. Couture, J. O'Neil, and D. L. G. Noakes. 2009. The Effect of Food Deprivation on the Cortisol Response to Crowding in Juvenile Steelhead. *North American Journal of Aquaculture* 71:130-133.
- Randall, D. J. and T. K. N. Tsui. 2002. Ammonia toxicity in fish. *Marine Pollution Bulletin* 45:17-23.
- Randall, D. J. and P. A. Wright. 1989. The interaction between carbon-dioxide and ammonia excretion and water pH in fish. *Canadian Journal of Zoology-Revue Canadienne De Zoologie* 67:2936-2942.
- Reilly, S. C., J. P. Quinn, A. R. Cossins, and L. U. Sneddon. 2008a. Behavioural analysis of a nociceptive event in fish: Comparisons between three species demonstrate. *Applied Animal Behaviour Science* 114:248-259.

- Reilly, S. C., J. P. Quinn, A. R. Cossins, and L. U. Sneddon. 2008b. Novel candidate genes identified in the brain during nociception in common carp (*Cyprinus carpio*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Neuroscience Letters* 437:135-138.
- Rice, A. N., B. R. Land, and A. H. Bass. 2011. Nonlinear acoustic complexity in a fish 'two-voice' system. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* 278:3762-3768.
- Robb, D. H. F. and S. C. Kestin. 2002. Methods used to kill fish: Field observations and literature reviewed. *Animal Welfare* 11:269-282.
- Robb, D. H. F., M. O'Callaghan, J. A. Lines, and S. C. Kestin. 2002. Electrical stunning of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): factors that affect stun duration. *Aquaculture* 205:359-371.
- Rodewald, P., P. Hyvarinen, and H. Hirvonen. 2011. Wild origin and enriched environment promote foraging rate and learning to forage on natural prey of captive reared Atlantic salmon parr. *Ecology of Freshwater Fish* 20:569-579.
- Rose, J. D. 2002. The Neurobehavioral nature of fishes and the question of awareness and pain. *Reviews in Fisheries Science* 10:1-38.
- Rosten T., R. B. O., Salbu B., Olsvik P. & Steen J.E. 2005. Documentation of fish welfare: experiences and recommendation of fish transportation in open-, closed-, and combined well boat transports. Conference: lessons from the past to optimise the future. European Aquaculture Society Special Publication
- Rotllant, J., L. Tort, D. Montero, M. Pavlidis, M. Martinez, S. E. W. Bonga, and P. H. M. Balm. 2003. Background colour influence on the stress response in cultured red porgy *Pagrus pagrus*. *Aquaculture* 223:129-139.
- Rowe, S. and J. A. Hutchings. 2008. A link between sound producing musculature and mating success in Atlantic cod. *Journal of Fish Biology* 72:500-511.
- Salvanes, A. G. V. and V. A. Braithwaite. 2005. Exposure to variable spatial information in the early rearing environment generates asymmetries in social interactions in cod (*Gadus morhua*). *Behavioral Ecology and Sociobiology* 59:250-257.
- Sandoe, P., B. Forkman, and S. B. Christiansen. 2004. Scientific uncertainty - how should it be handled in relation to scientific advice regarding animal welfare issues? *Animal Welfare* 13:S121-S126.
- Schäperclaus, W., von Lukovicz, M. (Hrsg.), 1998. Lehrbuch der Teichwirtschaft, 4. Auflage; Blackwell Verlag. ISBN 3-8263-8248-X
- Schmidt. 1998. Forellenteichwirtschaft. in Schäperklaus, Editor. Lehrbuch der Teichwirtschaft. Parey, Berlin.
- Schobert. 2001. Empfehlungen für Bau und Betrieb von Fischteichen. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Lazarettstraße 67, D-80636 München.
- Scott, A. P. and T. Ellis. 2007. Measurement of fish steroids in water - a review. *General and Comparative Endocrinology* 153:392-400.
- Scott, A. P., K. Hirschenhauser, N. Bender, R. Oliveira, R. L. Earley, M. Sebire, T. Ellis, M. Pavlidis, P. C. Hubbard, M. Huertas, and A. Canario. 2008. Non-invasive measurement of steroids in fish-holding water: important considerations when applying the procedure to behaviour studies. *Behaviour* 145:1307-1328.

- Shmueli, M., I. Izhaki, A. Arieli, and Z. Arad. 2000. Energy requirements of migrating Great White Pelicans *Pelecanus onocrotalus*. *Ibis* 142:208-216.
- Simoes, J. M., I. G. Duarte, P. J. Fonseca, G. F. Turner, and M. C. Amorim. 2008. Courtship and agonistic sounds by the cichlid fish *Pseudotropheus zebra*. *Journal of the Acoustical Society of America* 124:1332-1338.
- Sloman, K. A., N. B. Metcalfe, A. C. Taylor, and K. M. Gilmour. 2001. Plasma cortisol concentrations before and after social stress in rainbow trout and brown trout. *Physiological and Biochemical Zoology* 74:383-389.
- Smith, F. M. and D. R. Jones. 1982. The effect of changes in blood oxygen-carrying capacity on ventilation volume in the rainbow-trout (*Salmo gairdneri*). *Journal of Experimental Biology* 97:325-334.
- Smith, M. E., A. S. Kane, and A. N. Popper. 2004a. Acoustical stress and hearing sensitivity in fishes: does the linear threshold shift hypothesis hold water? *Journal of Experimental Biology* 207:3591-3602.
- Smith, M. E., A. S. Kane, and A. N. Popper. 2004b. Noise-induced stress response and hearing loss in goldfish (*Carassius auratus*). *Journal of Experimental Biology* 207:427-435.
- Sneddon, L. U. 2003. The evidence for pain in fish: the use of morphine as an analgesic. *Applied Animal Behaviour Science* 83:153-162.
- Sneddon, L. U. 2003b. Trigeminal somatosensory innervation of the head of a teleost fish with particular reference to nociception. *Brain Research* 972:44-52.
- Sneddon, L. U. 2006. Ethics and welfare: Pain perception in fish. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists* 26:6-10.
- Sneddon, L. U. 2009. Pain Perception in Fish: Indicators and Endpoints. *Ilar Journal* 50:338-342.
- Sneddon, L. U. 2011. Sensory systems, perception and learning | Nociception or Pain in Fish. Pages 713-719 in P. F. Editor-in-Chief: Anthony, Editor. *Encyclopedia of Fish Physiology*. Academic Press, San Diego.
- Sneddon, L. U. 2012. Clinical anesthesia and analgesia in fish. *Journal of Exotic Pet Medicine* 21:32-43.
- Sorum, U. and B. Damsgard. 2004. Effects of anaesthetisation and vaccination on feed intake and growth in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* 232:333-341.
- Southgate. 2008. *Welfare of Fish During Transport*. Blackwell Publishing Ltd, Oxford OX4 2DQ.
- Southgate, P. 2010. *Welfare and Farmed Fish*. 978-1-84593-553-5(P), Cabi Publishing-C a B Int, Cabi Publishing, Wallingford Ox10 8de, Oxon, UK.
- St-Hilaire, S., T. Ellis, A. Cooke, B. P. North, J. F. Turnbull, T. Knowles, and S. Kestin. 2006. Fin erosion on rainbow trout on commercial trout farms in the United Kingdom. *Veterinary Record* 159:446-451.
- Stamer. 2009. *Betäubungs- & Schlachtmethoden für Speisefische*. FiBL, Frick Schweiz.
- Tatara, C. P., S. C. Riley, and J. A. Scheurer. 2009. Growth, Survival, and Habitat Use of Naturally Reared and Hatchery Steelhead Fry in Streams: Effects of an Enriched

- Hatchery Rearing Environment. Transactions of the American Fisheries Society 138:441-457.
- Teixeira, A., R. M. V. Cortes, and D. Oliveira. 2006. Habitat use by native and stocked trout (*Salmo trutta* L.) in two Northeast streams, Portugal. Bulletin Francais De La Peche Et De La Pisciculture:1-18.
- Thurston, R. V. and R. C. Russo. 1983. Acute toxicity of ammonia to rainbow-trout. Transactions of the American Fisheries Society 112:696-704.
- Tort, L., J. Rotllant, C. Liarte, L. Acerete, A. Hernandez, S. Ceulemans, P. Coutteau, and F. Padros. 2004. Effects of temperature decrease on feeding rates, immune indicators and histopathological changes of gilthead sea bream *Sparus aurata* fed with an experimental diet. Aquaculture 229:55-65.
- Trenzado, C. E., T. R. Carrick, and T. G. Pottinger. 2003. Divergence of endocrine and metabolic responses to stress in two rainbow trout lines selected for differing cortisol responsiveness to stress. General and Comparative Endocrinology 133:332-340.
- Tudorache, C., P. Viaene, R. Blust, H. Vereecken, and G. De Boeck. 2008. A comparison of swimming capacity and energy use in seven European freshwater fish species. Ecology of Freshwater Fish 17:284-291.
- Turnbull, J., A. Bell, C. Adams, J. Bron, and F. Huntingford. 2005. Stocking density and welfare of cage farmed Atlantic salmon: application of a multivariate analysis. Aquaculture 243:121-132.
- Vera, L. M. and H. Migaud. 2009. Continuous high light intensity can induce retinal degeneration in Atlantic salmon, Atlantic cod and European sea bass. Aquaculture 296:150-158.
- Volpato, G. L. 2009. Challenges in Assessing Fish Welfare. Ilar Journal 50:329-337.
- Volpato, G. L., E. Goncalves-de-Freitas, and M. Fernandes-de-Castilho. 2007. Insights into the concept of fish welfare. Diseases of Aquatic Organisms 75:165-171.
- Wagner, E. J., R. E. Arndt, M. D. Routledge, D. Latremouille, and R. F. Mellenthin. 2006. Comparison of hatchery performance, agonistic behavior, and poststocking survival between diploid and triploid rainbow trout of three different Utah strains. North American Journal of Aquaculture 68:63-73.
- Wall. 2000. Ethical considerations in the handling and slaughter of farmed fish. Farmed fish quality. Eds. Kestin S.C. & Warris P.D., Oxford Fishing News Books:108-115.
- Wall, A. E. and R. H. Richards. 1992. Occurrence of cataracts in triploid atlantic salmon (*Salmo salar*) on 4 farms in Scotland. Veterinary Record 131:553-557.
- Walliser_Bote. 2011. Rarner Fischzüchter produziert für Migros.
- Wasserfallen. 2009. Individuelle Identifikation und Sortierung von Fischen. HiTech. Berner Fachhochschule.
- Wedemeyer. 1996. Physiology of Fish in Intensive Culture Systems. Chapman & Hall.
- Williams, R. E. and M. S. Lewis. 1986. Stream model of benthic nitrification-denitrification. Journal of Environmental Engineering-Asce 112:367-386.
- Willoughby. 1999. Manual of salmonid farming. Fishing New Books Blackwell Science, Oxford.

- Winberg, S., O. Overli, and O. Lepage. 2001. Suppression of aggression in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) by dietary L-tryptophan. *Journal of Experimental Biology* 204:3867-3876.
- Woo, P. T. K. 2006. *Fish Diseases and Disorders, Vol 1: Protozoan and Metazoan Infections*, 2nd Edition.
- Woo, P. T. K. B. D. W. 2011. *Fish Diseases and Disorders, Vol 3: Viral, Bacterial and Fungal Infections*, 2nd Edition.
- Worm, B., E. B. Barbier, N. Beaumont, J. E. Duffy, C. Folke, B. S. Halpern, J. B. C. Jackson, H. K. Lotze, F. Micheli, S. R. Palumbi, E. Sala, K. A. Selkoe, J. J. Stachowicz, and R. Watson. 2006. Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *Science* 314:787-790.
- Wysocki, L. E., J. W. Davidson, III, M. E. Smith, A. S. Frankel, W. T. Ellison, P. M. Mazik, A. N. Popper, and J. Bebak. 2007. Effects of aquaculture production noise on hearing, growth, and disease resistance of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture* 272:687-697.
- Ye, X. M. and D. J. Randall. 1991. The effect of water pH on swimming performance in rainbow Trout (*Salmo-gairdneri*, Richardson). *Fish Physiology and Biochemistry* 9:15-21.
- Zika, U. and A. Peter. 2002. The introduction of woody debris into a channelized stream: Effect on trout populations and habitat. *River Research and Applications* 18:355-366.
- Zouiten, D., I. Ben Khemis, A. S. Masmoudi, C. Huelvan, and C. Cahu. 2011. Comparison of growth, digestive system maturation and skeletal development in sea bass larvae reared in an intensive or a mesocosm system. *Aquaculture Research* 42:1723-1736.
- Zuberi, A., S. Ali, and C. Brown. 2011. A non-invasive assay for monitoring stress responses: A comparison between wild and captive-reared rainbowfish (*Melanoteania duboulayi*). *Aquaculture* 321:267-272.

9. Anhang

Art. 3 Abs. b TschG

Wohlergehen: Wohlergehen der Tiere ist namentlich gegeben, wenn:

1. die Haltung und Ernährung so sind, dass ihre Körperfunktionen und ihr Verhalten nicht gestört sind und sie in ihrer Anpassungsfähigkeit nicht überfordert sind,
2. das artgemässe Verhalten innerhalb der biologischen Anpassungsfähigkeit gewährleistet ist,
3. sie klinisch gesund sind,
4. Schmerzen, Leiden, Schäden und Angst vermieden werden.